

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA**

Marija Perković

**PRIMJENA DIZALICA TOPLINE**

**ZAVRŠNI RAD**

Karlovac 2015

**VELEUČILIŠTE U KARLOVCU  
STROJARSKI ODJEL  
STRUČNI STUDIJ STROJARSTVA**

Marija Perković

**PRIMJENA DIZALICA TOPLINE**

**ZAVRŠNI RAD**

Mentor:

Prof.dr.sc.Ljubomir Majdandžić dipl.ing

Karlovac 2015



## VELEUČILIŠTE U KARLOVCU

**Stručni** / specijalistički studij: .....strojarstva.....

Usmjerenje:.....strojarske konstrukcije.....Karlovac,.....

### ZADATAK ZAVRŠNOG RADA

Student:.....Marija Perković..... Matični broj:.....0110609039.....

Naslov:.....PRIMJENA DIZALICA TOPLINE.....

Opis zadatka:

Radom je potrebno opisati osnove, način rad i podjelu dizalica topline. Također dati prikaz teoretskog lijevokretnog Carnotovog procesa u p-v i T-s dijagramu te definirati faktor grijanja ili toplinski množitelj (COP) i usporediti ga s faktorom hlađenja.

Dati pojednostavljeni prikaz rada, osnovne značajke izvedbi dizalica topline i najčešće mogućnosti za primjenu dizalica topline.

Analizirati i dati usporedbu mogućih toplinskih izvora za dizalice topline.

Posebno opisati kompresijske dizalice topline i dati opis svih komponenti odnosno osnovnih dijelova kompresijskih dizalica topline.

Zadatak izraditi i opremiti sukladno Pravilniku o diplomskom ispitu VUK-a.

Zadatak zadan:

Rok predaje rada:

Predviđeni datum obrane:

02.02.2015.

24.02.2015

29.04.2015

.

Mentor:

Predsjednik Ispitnog povjerenstva:

## **IZJAVA**

*Izjavljujem da sam ovaj završni rad na temu primjena dizalica topline napisala samostalno, na temelju znanja stečenog tijekom studiranja, uz pomoć stručne literature, interneta i korisnih savjeta mentora.*

*Uvelike se zahvaljujem mentoru Prof.dr.sc.Ljubomiru Majdandžiću na pruženoj prilici i svim savjetima koje mi je davao pri izradi ovog završnog rada. Zahvaljujem se svima koji su mi bili podrška tijekom studiranja, a posebno svojoj obitelji.*

## SAŽETAK

U ovom završnom radu pisalo se o osnovama, načinu rada te podjeli dizalica topline. Također se pisalo o obnovljivim toplinskim izvorima dizalice topline. Kao izvor topline koristi se okolni zrak, podzemne vode, toplina zemlje i zračenje Sunca.

Toplinska energija koja se dobije upotrebom dizalice topline iskorištava se pomoću radijatorskog grijanja, podnog grijanja ili grijanja zraka u prostoru.

Grijanje pomoću dizalice topline je jeftinije od grijanja na plin i ulje. Dizalice topline u Hrvatskoj doživljavaju sve veću ekspanziju.

## SUMMARY

In This thesis is about the basics, the mode, and the division of types of heat pumps. It also deals with renewable heat source heat pumps. Ambient air, groundwater, heat of the earth and solar radiation are used as sources of heating.

Thermal energy which is produced by using heat pumps is used to heat radiators, floors or the air in the room.

Heating with heat pumps is cheaper than heating with gas and oil. Heat pumps' popularity in Croatia, as a source of heating, is increasing.

## SADRŽAJ

1. UVOD .....	1
2. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE .....	2
3. OSNOVE RADA DIZALICA TOPLINE .....	3
3.1. Lijevoekretni Carnotov proces .....	3
3.2. Faktori grijanja i hlađenja .....	5
4. NAČIN RADA DIZALICE TOPLINE .....	9
4.1. Monovalentni način rada .....	9
4.2. Bivalentni način rada .....	9
4.3. Monoenergetski i multivalentni način rada .....	10
5. OSNOVNE ZANAČAJKE DIZALICA TOPLINE .....	11
6. PODJELA DIZALICA TOPLINE .....	16
6.1. Kompresijske dizalice topline .....	16
6.1.1. Isparivač .....	18
6.1.2. Kompresor .....	19
6.1.3. Kondenzator.....	21
6.1.4. Ekspanzijski ventil .....	22
6.2. Apsorpcijske dizalice topline .....	23
6.3. Adsorpcijske dizalice topline .....	25
7. TOPLINSKI IZVORI DIZALICE TOPLINE .....	27
7.1. Tlo kao toplinski izvor .....	27
7.1.1. Podzemni toplinski kolektori.....	29
7.1.2. Podzemne toplinske sonde.....	32
7.2. Voda kao toplinski izvor .....	34
7.3. Zrak kao toplinski izvor .....	37
7.4. Sunce kao toplinski izvor .....	38
8. ZAKLJUČAK .....	40
9. LITERATURA .....	41
10. POPIS SLIKA .....	42
11. POPIS TABLICA .....	43

## 1. UVOD

Dizalica topline je svaki uređaj koji podiže toplinsku energiju s niže na višu energetska razinu. Osnovana zamisao primjene dizalica topline kao izvora toplinskog učina u sustavu grijanja, pripreme PTV-a, ventilacije i klimatizacije temelji se na mogućnosti iskorištavanja dijela "besplatne" i "neograničene" topline iz neposredne okolice, tj. toplinskog izvora kao što su tlo, voda, zrak i sunce.

Korištenje principa toplinskih crpki je ekološki podobno jer izaziva nultu emisiju štetnih plinova. Jedino zagađenje koje može biti uključeno u ovaj proces je ono koje nastaje proizvodnjom električne energije u termoelektranama. Ukoliko se energija dobiva iz hidro ili energetski obnovljivih izvora onda je rad ovakvih sistema potpuno ekološki čist.

Dizalice topline primjenjuju se u svim veličinama, od onih najmanjih za grijanje stanova, pa sve do sustava koji služe za grijanje čitavih naselja, to su niskotemperaturni sustavi grijanja. Primjena dizalica topline: obiteljska domaćinstva, poslovni objekti, škole, vrtići, bolnice, plastenici i staklenici.

## 2. OBNOVLJIVI IZVORI ENERGIJE

Obnovljivi izvori energije su izvori "neograničene" energije koji se dobivaju iz prirode. Danas se sve više koriste zbog svoje neškodljivosti prema okolišu. Obnovljivi izvori energije igraju značajnu ulogu u smanjenju emisija ugljičnog dioksida (CO<sub>2</sub>)

Grijanjem obnovljivim izvorom energije može se dobiti do 75% toplinske energije iz okoline.

Ekološkim grijanjem smanjuje se emisija CO<sub>2</sub> prema okolini do 60%

Obnovljivi izvori energije: tlo, voda, zrak, Sunce i ostali.

Tablica 1. Prednosti i nedostaci obnovljivih izvora energije

PREDNOSTI	NEDOSTACI
<ul style="list-style-type: none"><li>· nema onečišćenja vode, tla i atmosfere</li><li>· nema emisije štetnih sastojaka u okoliš.</li><li>· direktna konverzija energije.</li><li>· gotovo nepotrošivi izvor energije</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>· ovisnost o vremenskim uvjetima.</li><li>· zbog niske temperature - mala toplinska iskoristivost (geotermalna energija)</li><li>· ograničeno korištenje toplinske energije na lokaciji u blizini izvorišta</li><li>· utjecaj na ekosustav rijeke i njene okoline (voda)</li></ul>



Slika 1. Obnovljivi izvori energije [5]



### 3. OSNOVE RADA DIZALICA TOPLINE

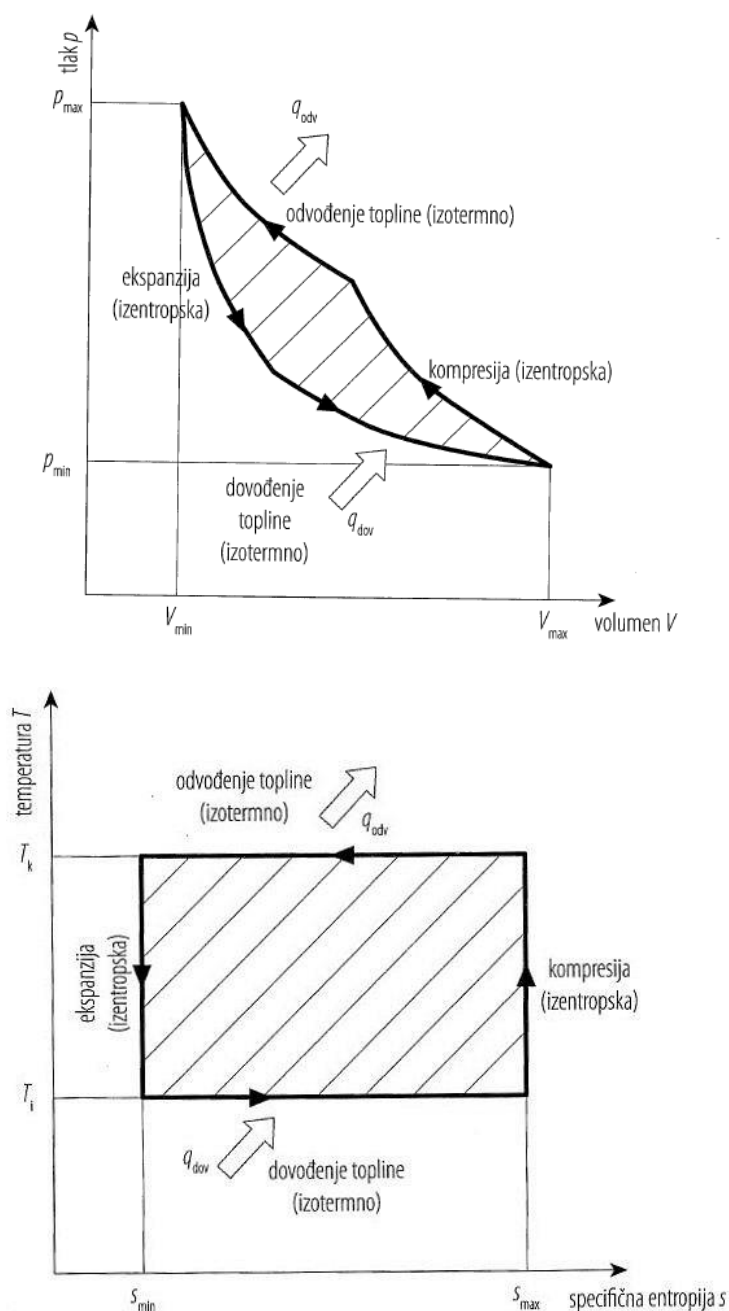
#### 3.1. *Lijevokretni Carnotov proces*

U lijevokretnom kružnom procesu promjene se odvijaju u smjeru suprotnom kretanju kazaljki na satu i njegov cilj je izmjena topline između dva toplinska spremnika. Za prijenos topline od toplinskog spremnika na nižoj do toplinskog spremnika na višoj temperaturnoj razini kružnom procesu treba dovesti kompenzacijsku energiju (u većini slučajeva to je mehanički rad kompresora).

Lijevokretni Carnotov proces se sastoji od četiri povratna potprocesa (sl.2):

- izentropska kompresija
- izotermna kompresija (pri temperaturi rashladnog spremnika)
- izentropska ekspanzija
- izotermna ekspanzija (pri temperaturi ogrjevnog spremnika)

Kod takvog se procesa radnom mediju dovodi mehanički rad izvana kako bi se omogućilo da mu se pri nižoj temperaturi iz neposredne okoline (toplinskog spremnika na nižoj temperaturnoj razini) dovodi toplina i potom pri višoj temperaturi predaje toplinu neposrednoj okolini (toplinskom spremniku na višoj temperaturnoj razini)



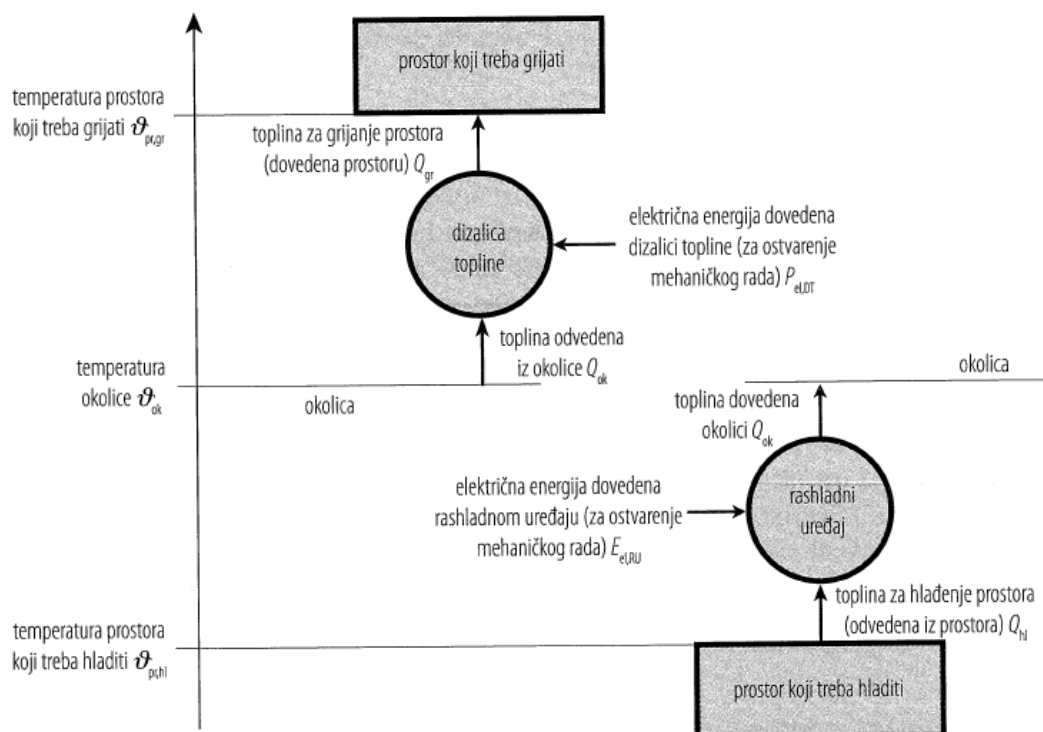
Slika 2. Prikaz teoretskog lijevokretnog Carnotovog procesa u  $p$ - $v$  i  $T$ - $s$  dijagramima [1]

Ovisno o tome što se u zadanom slučaju smatra korisnim: grijanje ili hlađenje promatranog okolnog prostora ili medija, razlikuju se procesi u rashladnom uređaju i dizalicama topline (sl.3). To znači da je kod rashladnog uređaja toplinski spremnik na višoj temperaturnoj razini (onaj kojem se toplina dovodi) neposredna okolica uređaja, dok je spremnik na nižoj

temperaturnoj razini (onaj kojim se toplina odvodi) prostor ili mediji koje se trebaju ohladiti (npr. zrak u prostoriji, unutrašnjost hladnjaka, zrak koji struji kroz klima komoru).

Kod dizalice topline je toplinski spremnik na višoj temperaturnoj razini (onaj kojem se toplina dovodi) prostor ili medij koji se treba zagrijati (npr. ogrjevnj medij sustava grijanja), dok je spremnik na nižoj temperaturnoj razini (onaj koje se toplina odvodi) neposredna okolica (okolni zrak, voda ili tlo).

Lijevo-kretni kružni proces se također može voditi tako da bude rashladno-ogrjevnj pa se istodobno može koristiti za grijanje i hlađenje.



Slika 3. Usporedba procesa u rashladnom uređaju i dizalici topline [1]

### 3.2. Faktori grijanja i hlađenja

Faktor grijanja ili toplinski množitelj (COP, eng. coefficient of performance) je osnovni pokazatelj učinkovitosti rada dizalice topline. Jednak je omjeru toplinske energije koju je dizalica topline dovela nekom prostoru ili mediju i pogonske (mehaničke, električne i sl.) energije kojom se ostvaruje proces u njoj, odnosno toplinskog učinka koji dizalica topline

preko kondenzatora predaje prostoru ili mediju koji treba grijati i električne snage elektromotora koji pokreće njezin kompresor:

$$\varepsilon_{DT} = \frac{Q_{dov}}{E_{pog}} = \frac{\Phi_{DT}}{P_{el}} = \frac{1}{1 - \frac{T_{izv}}{T_{pol}}}$$

Pri čemu su:

$\varepsilon_{DT}$  - faktor grijanja dizalice topline,  $> 1$  (uvijek)

$Q_{dov}$  - toplota koja je dovedena nekom prostoru ili mediju, J

$E_{pog}$  - pogonska energija za ostvarivanje procesa u dizalici topline, J

$\Phi_{DT}$  - toplinski učin dizalice topline, J

$P_{el}$  - nazivna električna snaga dizalice topline, W

$T_{izv}$  - srednja temperatura toplinskog izvora, K

$T_{pol}$  - temperatura polaznog voda ogrijevnog medija, K

Faktor hlađenja je osnovni pokazatelj učinkovitosti rada rashladnih uređaja. Jednak je omjeru toplinske energije koju je rashladni uređaj odveo iz nekog prostora ili medija i pogonske (mehaničke, električne i sl) energije kojom se ostvaruje proces u njemu, odnosno omjeru rashladnog učinka koji rashladni uređaj preko isparivača uzima iz prostora ili medija koji treba hladiti i električne snage elektromotora koji pokreće njegov kompresor:

$$\varepsilon_{RU} = \frac{Q_{dov}}{E_{pog}} = \frac{\Phi_{RU}}{P_{el}} = \varepsilon_{DT} - 1$$

Pri čemu su:

$\varepsilon_{RU}$  = faktor hlađenja rashladnog uređaja

$Q_{dov}$  = toplota koja je odvedena od nekog prostora ili medija, J

$\Phi_{RU}$  = rashladni učin rashladnog uređaja, W

Sezonski faktor grijanja je pokazatelj učinkovitosti rada dizalice topline tijekom duljeg razdoblja (npr. tijekom sezone grijanja):

$$\varepsilon_{DT,sez} = \frac{\sum Q_{dov}}{\sum E_{pog}}$$

Pri čemu su:

$\varepsilon_{DT,sez}$  = sezonski faktor grijanja (tablica 2)

$\sum Q_{dov}$  = ukupna dovedena toplinska energija cijelo vrijeme pogona dizalice topline, J

$\sum E_{pog}$  = ukupna energija za pogon dizalice topline (npr. u godini dana), J

Tablica 2. Prosječni toplinski učini i sezonski faktori grijanja dizalica topline, ovisno o toplinskom izvoru

toplinski izvor	prosječni toplinski učin, KW	sezonski faktor grijanja $\varepsilon_{DT,sez}$
okolni zrak	4-50	2,0 - 2,5
otpadni, istrošeni ili zrak iz prostorije	3	2,5 - 3,1
tlo	7 - 400	2,3 - 2,7
podzemne vode	7 - 400	2,4 - 2,8
površinske i morska voda	10 - 25 000	2,4 - 3,3
otpadna toplina industrijskih procesa	> 500	2,5 - 4,0

Stvarni faktor grijanja dizalice topline u obzir uzima gubitke u cijelom procesu, odnosno uređaju (npr. kompresora, crpki, ventilatora). Za kompresijske dizalice topline određuje se jednadžbama:

- za dizalice topline pogonjene dizelskim ili plinskim motorom

$$\varepsilon_{DT,stv} = \frac{Q_{dov} + Q_{hl} + Q_{DP}}{Q_{gor}} \approx 1 + \eta_{mot} \cdot (\varepsilon_{DT} - 1)$$

- za dizalice topline pogonjene električnim kompresorom:

$$\varepsilon_{DT,stv} = \frac{Q_{dov} + Q_{hl}}{E_{el}}$$

Pri čemu su:

$\varepsilon_{DT,stv}$  - stvarni faktor grijanja kompresijske dizalice topline

$Q_{hl}$  - toplotina odvedena sustavu hlađenja motora kompresora, J

$Q_{DP}$  - toplotina odvedena dimnim plinovima iz motora kompresora, J

$Q_{gor}$  - toplotina oslobođena izgaranjem goriva u komori izgaranja motora kompresora, J

$\eta_{mot}$  - stupanj djelovanja motora kompresora, %

$E_{el}$  - dovedena električna energija za pogon kompresora, J

## 4. NAČIN RADA DIZALICE TOPLINE

### 4.1. *Monovalentni način rada*

Monovalentni način rada dizalice topline znači da se njome tijekom cijele sezone grijanja pokrivaju cjelokupne potrebe zgrade za toplinom, odnosno da je ona jedini izvor topline u sustavu grijanja i pripreme PTV-a.

Dizalice topline u monovalentnom načinu rada najčešće koristi podzemne vode i površinske vode te površinske i dubinske slojeve tla, a u nekim slučajevima i okolni zrak kao toplinski izvor. Za te toplinske izvore se pretpostavlja da su raspoloživi cijele godine.

### 4.2. *Bivalentni način rada*

Bivaletni način rada dizalice topline znači da se njome tijekom sezone grijanja pokriva samo jedan dio potreba zgrade za toplinom, postoji još jedan izvor topline kao što su, npr. plinski, uljni, električni ili kotao na kruta goriva. To znači da se u određeno vrijeme, npr. u slučaju vrlo niskih okolnih temperatura, uključuje i dodatni izvor topline. Takav je način rada uobičajen kod primjene dizalica topline zrak - voda.

Tri su osnovne podvrste bivalentnog načina rada:

- bivalentno-alternativni način rada
- djelomični bivalentni-usporedni način rada
- bivalentno-usporedni način rada

Bivalentno-alternativni način rada dizalice topline znači da u određenom trenutku u sezoni grijanja, dodatni izvor topline preuzima cjelokupne potrebe zgrade za toplinom, dok se dizalica topline isključuje.

Djelomični bivalentni-usporedni način rada dizalice topline znači da u određenom trenutku u sezoni grijanja, uključuje dodatni izvor topline koji potom zajedno s dizalicom topline služi za pokrivanje potreba zgrade za toplinom, a zatim se ona u određenom trenutku (tzv. točka isključivanja) isključuje pa dodatni izvor topline pokriva potrebe za toplinom. Točke

uključivanja i isključivanja određene su okolnom i temperaturom ogrijevnog medija te vremenima povoljnih tarifa električne energije.

Bivalentno-usporedni način rada dizalice topline znači da u određenom trenutku u sezoni grijanja (tzv. točka uključivanja), uključuje dodatni izvor topline koji potom zajedno s dizalicom topline služi za pokrivanje cjelokupnih potreba zgrade za toplinom.

### ***4.3. Monoenergetski i multivalentni način rada***

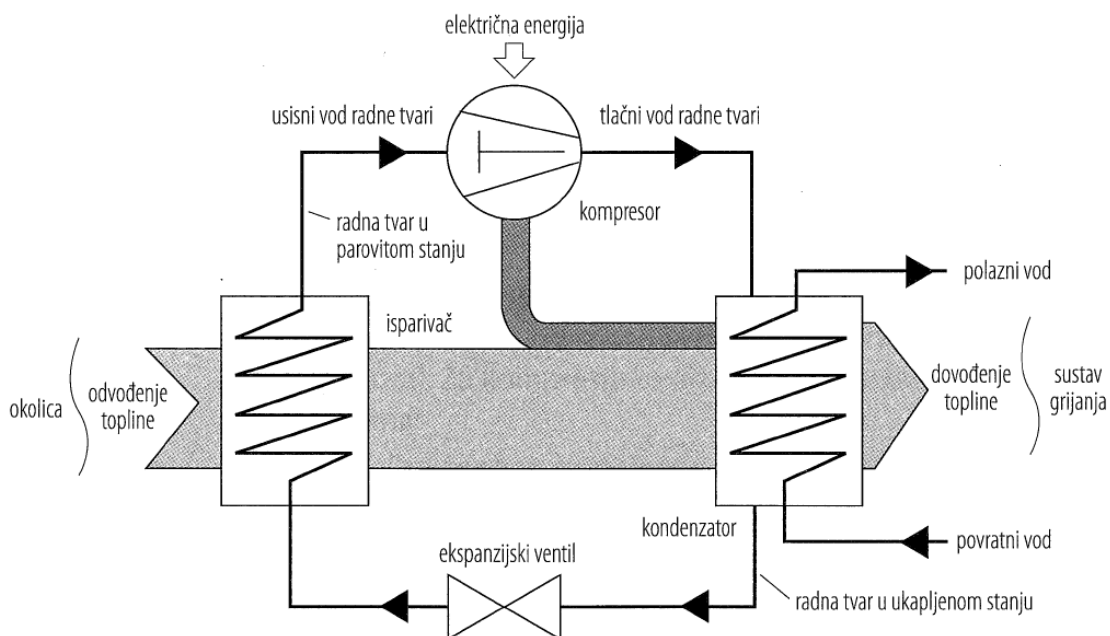
Monoenergetski način rada dizalice topline znači da dodatni izvor topline za sustav grijanja i pripreme PTV-a kao energent koristi samo električnu energiju. Kao dodatni izvor topline najčešće se koristi akumulacijski spremnik tj. zagrijač tople vode s ugrađenim električnim grijačem, odnosno električni kotao.

Multivalentni način rada dizalice topline znači da dodatni izvor topline za sustav grijanja i pripreme PTV-a kao energent koristi npr. plin, loživo ulje, Sunčevu energiju. Drugim riječima uz električnu energiju mora postojati najmanje još jedan energent u zgradi. Kao dodatni izvor topline tada mogu poslužiti plinski kotlovi ili solarni sustavi.



## 5. OSNOVNE ZANAČAJKE DIZALICA TOPLINE

Dizalica topline (toplinska crpka, toplinska pumpa) je uređaj koji omogućava prijenos toplinske energije iz sustava (toplinskog spremnika) niže temperaturne razine u sustav više temperaturne razine korištenjem dodatne energije (rada) pomoću lijevokretnog kružnog procesa prikladnog radnog medija (sl.4). Dizalice topline su vrlo prikladne kao izvori toplinskog (i rashladnog) učina u sustavima grijanja, pripreme potrošne tople vode, ventilacije i klimatizacije.



Slika 4. Pojednostavljeni prikaz rada (kompresijske) dizalice topline [1]

Toplinski spremnici različitih temperaturnih razina pri tome su:

- toplinski izvor: prostor ili medij niže temperaturne razine od kojeg se topline odvodi (najčešće je to neposredna okolica: tlo, površinske ili podzemne vode, okolni zrak, otpadni, istrošeni ili onečišćeni zrak iz prostorija ili raznih proces, odnosno prikladni posredni medij)
- toplinski ponor: prostor ili medij više temperaturne razine kojem se toplina dovodi (najčešće su to zrak u prostoriji, voda u sustavu grijanja, potrošna topla voda, odnosno prikladni ogrijevni medij)

Toplinski izvori za dizalice topline se (s obzirom na porijeklo o postojanosti temperaturne razine) mogu podijeliti u tri osnovne skupine:

1. prirodni s uglavnom promjenjivim temperaturama:
  - okolni zrak
2. prirodni s razmjerno konstantnim temperaturama:
  - površinske vode (vodotoci i jezera), mora i oceani
  - podzemne vode
  - slojevi tla
  - Sunčeva energija (solarni toplinski sustavi)
3. umjetni:
  - otpadni, istrošeni ili neočišćeni zrak iz prostorije ili industrijskih proces (tzv. otpadna toplota)
  - otpadne vode

Tri osnovne skupine dizalice topline s obzirom na toplinski izvor (tablica 3):

- dizalice topline tlo - voda: kao toplinski izvor koriste slojeve tla
- dizalice topline voda - voda: kao toplinski izvor koriste podzemne, površinske ili otpadne vode
- dizalice topline zrak - voda i zrak - zrak: kao toplinski izvor koriste okolni, istrošeni, otpadni ili onečišćeni zrak

Tablica 3. Osnovne značajke izvedbi dizalica topline

Toplinski izvori		Izvedba dizalica topline	Temperaturna razina toplinskog izvora	Raspoloživost ovisno o dobu godine	Mogućnost primjene kao jedinog izvora topline	Problemi pri uporabi	Potrošnja energije za prijenos posrednog medija	Troškovi izvođenja sustava	Utjecaj okoliša
tlo	vodoravno kolektorsko polje	tlo-voda	od -5 do +15°C	stalna	velika	zaleđivanje tla oko izmjenjivača topline, korozija	velika (crpke)	visoki (iskop)	malen
	kanalni kolektor	tlo-voda							malen
	toplinska sonda	tlo-voda				korozija		visoki (bušotine)	velik (moguć proboj vodonosnih slojeva)
voda	podzemne vode	voda-voda	8-12°C	stalna	velika	korozija	velika (crpke)	visoki (bušotine)	značajan
	površinske vode	voda-voda	0-10°C	ovisno o vodotoku	djelomična	onečišćenja, korozija	velika (crpke)	umjereni	djelomičan
	otpadne vode	voda-voda	>10°C	stalna	velika	onečišćenja, korozija, neugodni mirisi	umjerena do velika (crpke)	umjereni	malen
zrak	otpadni, istrošeni ili onečišćeni zrak	zrak-voda	>22°C	ovisno o radu sustava ventilacije i klimatizacije	djelomična	-	-	niski	zanemariv
	okolni zrak	zrak-voda zrak-zrak	od -20 do +25°C	stalna	djelomična	zaleđivanje isparivača	velika (ventilator)		

Uz to, dizalice topline se mogu koristiti i u raznim proizvodnim pogonima i procesima:

- kao izvor toplinskog učina u sustavu grijanja pogona, staklenika, za razne procese i sl.
- kao izvor toplinskog i rashladnog učina u sustavu zagrijavanja, odnosno hlađenja procesne vode
- kao izvor toplinskog učina u sustavu za proizvodnju vodene pare
- kao izvor toplinskog učina u sustavu za sušenje i odvlaživanje (npr. u prehrambenoj, drvnoj i industriji papira i celuloze, skladištima)

Ipak, dizalice topline se najčešće koriste kao izvori topline u sustavu grijanja i/ili pripremi PTV-a obiteljskih kuća, stambenih, javnih i raznih drugih zgrada kao što su hoteli, ugostiteljski objekti, domovi, kampovi, vojarne i sl. (tablica 4)

Tablica 4. Najčešće mogućnosti za primjenu dizalica topline

toplinski učin, kW	primjena	najčešći toplinski izvori
3	sustavi pripreme PTV-a (osnovni izvor) i grijanja obiteljskih kuća (dodatni izvor)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· okolni zrak</li> <li>· otpadni, istrošeni ili onečišćeni zrak iz prostorija ili susav ventilacije i klimatizacije</li> </ul>
16	sustavi grijanja i pripreme PTV-a obiteljskih kuća (osnovni izvor)	<ul style="list-style-type: none"> <li>· okolni zrak</li> <li>· otpadni, istrošeni ili onečišćeni zrak iz prostorija ili susav ventilacije i klimatizacije</li> <li>· tlo</li> <li>· podzemne vode</li> <li>· površinske vode</li> </ul>
100	sustavi grijanja stambenih zgrada i manjih industrijskih pogona	<ul style="list-style-type: none"> <li>· otpadni, istrošeni ili onečišćeni zrak iz prostorija ili susav ventilacije i klimatizacije</li> <li>· tlo</li> <li>· podzemne vode</li> <li>· površinske vode (vodotoci jezera)</li> <li>· morska voda</li> </ul>
1000	toplinski sustavi manjih naselja i industrijskih pogona	<ul style="list-style-type: none"> <li>· površinske vode (vodotoci jezera)</li> <li>· morska voda</li> <li>· otpadne vode</li> </ul>
10 000	toplinski sustavi većih naselja	<ul style="list-style-type: none"> <li>· otpadni ili onečišćeni zrak iz industrije (otpadna toplota)</li> <li>· morska voda</li> <li>· otpadne vode</li> </ul>

Za njihovu učinkovitu primjenu treba ispuniti nekoliko osnovnih uvjeta kao što su:

- raspoloživost toplinskog izvora dovoljno visoke i razmjerno konstantne temperature dulje vrijeme (npr. cijele sezone grijanja)
- mala udaljenost toplinskih izvora i ponora
- umjerena temperaturna razina toplinskog ponora (npr. niskotemperaturni sustav grijanja)
- veliki broj sati uporabe tijekom godine (radi veće isplativosti)
- visoke cijene drugih izvora (čime se ostvaruju veće uštede)

S obzirom na izvor dodatne energije za ostvarivanje kružnog procesa, dizalice topline mogu biti:

- kompresijske, kod kojih se proces radne tvari omogućava dovođenjem mehaničkog rada pomoću kompresora ( najčešće u primjeni)
- sorpcijske (apsorpcijske i adsorpcijske), kod kojih se proces radne tvari omogućava dovođenjem toplinske energije
- Vuilleumierova, kod kojih se proces radne tvari također omogućava dovođenjem toplinske energije

## 6. PODJELA DIZALICA TOPLINE

### 6.1. Kompresijske dizalice topline

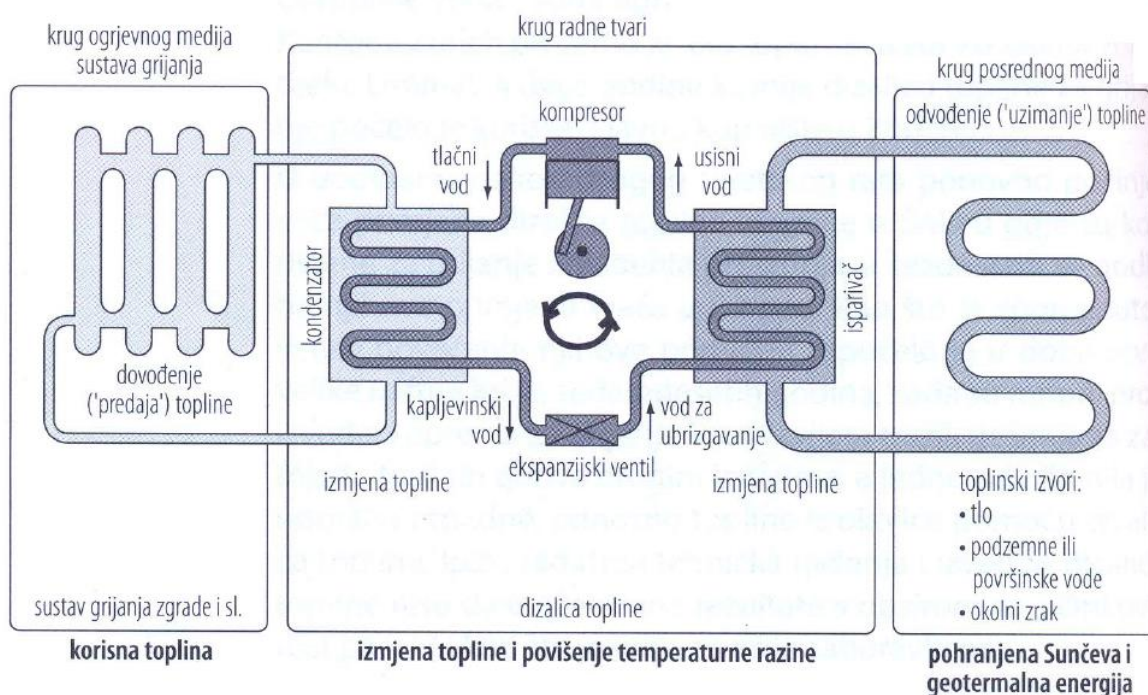
Kompresijske dizalice topline za povišenje energetske razine (temperaturue i tlaka) radne tvari, odnosno za omogućavanje kružnog procesa koriste mehanički rad kompresora.

Sastoji se od sljedećih osnovnih dijelova (sl.5):

- isparivača
- kompresora
- kondenzatora
- ekspanzijskog ventila,

tu su i spojni vodovi koji povezuju ta četiri osnovna dijela, regulacijski i pomoćni elementi te radne tvari.

Svi se ti dijelovi u većini slučajeva nalaze u zajedničkom kućištu i čine jedinstvenu cjelinu, odnosno dizalicu topline kao uređaj. No, da bi ona mogla raditi u sustavu grijanja, pripreme PTV-a, ventilacije i klimatizacije, potrebni su spojevi na dovod posrednog medija, razvod ogrijevnog medija, električnu mrežu, sustav automatske regulacije i sl.



Slika 5. Pojednostavljeni prikaz sastavnih dijelova kompresijske dizalice topline s toplinskim izvorom i sustavom grijanja [1]

Spoj na sustav grijanja izvodi se ovisno o ogrijevnom mediju. Ako je to voda (za toplovodne sustave grijanja i sustava za pripremu PTV-a), spoj se izvodi kao i za bilo koji drugi konvencionalni izvor topline, odnosno potreban je priključak za polazni i povratni vod. Ako je to topli zrak (npr. za dizalice topline zrak - zrak), dizalica topline se može spojiti na kanalni razvod zraka ili je pak njezin kondenzator izveden tako da ga zrak opstrujava i potom izravno ulazi u prostoriju.

Spoj na toplinski izvor izvodi se ovisno o posrednom mediju. Kod dizalice topline tlo - voda i voda - voda posredni medij je u kapljevitom stanju (voda, rasolina) i do isparivača se dovodi cijevovodima. Kod dizalice topline zrak - voda i zrak - zrak posredni medij je zrak koji se do isparivača dovodi odgovarajuće izvedenim kanalima. Dizalica topline tlo - voda i voda - voda koje kao toplinski izvor koriste površinske vode imaju primarni sustav za izmjenu topline koje se sastoji od odgovarajućeg izmjenjivača topline s cijevnim razvodom i crpkama te regulacijskom, sigurnosnom i mjernom opremom (ventilima, razdjelnicima, osjetnicima i sli.)

Toplinsku bilancu kompresijske dizalice topline opisuju jednadžbe:

$$\Phi_{DT} = \Phi_{DT,r} + P_{komp} \quad \text{ i } \quad \varepsilon_{DT} = \frac{\Phi_{DT}}{P_{komp}}$$

Pri čemu su:

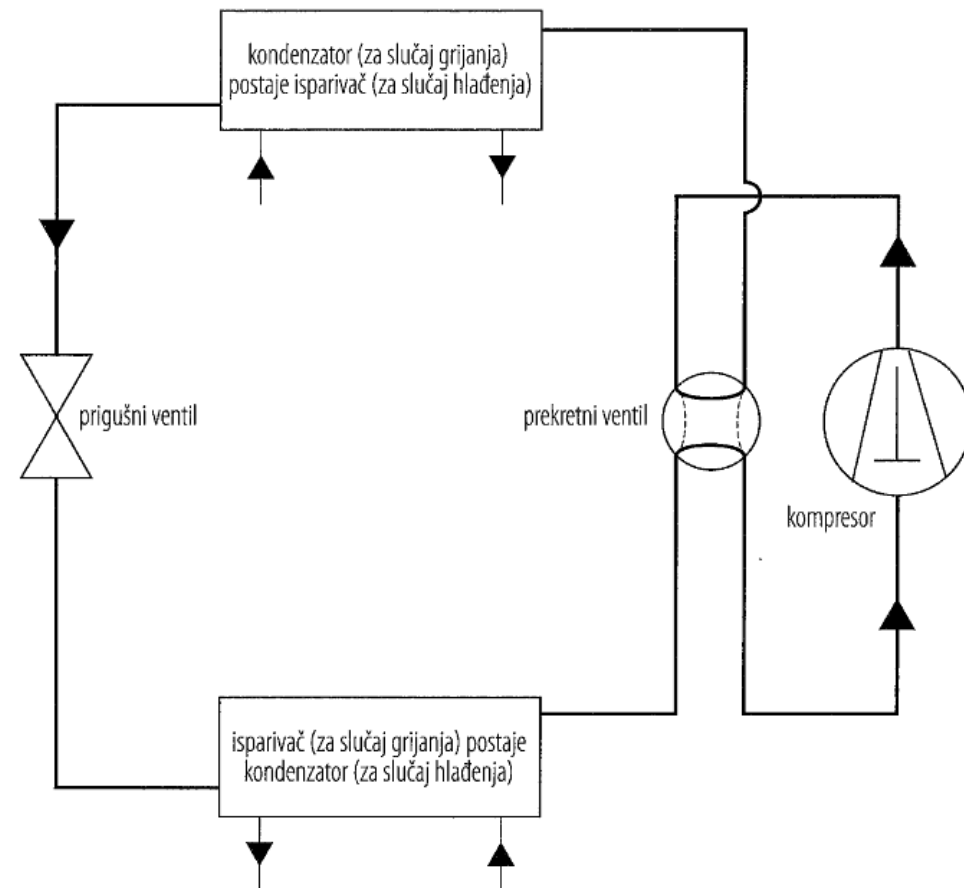
$\Phi_{DT}$  - toplinski učin dizalice topline ( kondenzatora), W

$\Phi_{DT,r}$  - rashladni učin dizalice topline (isparivača), W

$P_{komp}$  - snaga kompresora, W

$\varepsilon_{DT}$  - faktor grijanja dizalice topline

Kompresijske dizalice topline također se mogu izvesti tako da služe i kao izvor rashladnog učina. Tada se opremaju prekretnim ventilom pa kondenzator postaje isparivač, a isparivač kondenzator (sl.6)



Slika 6. Pojednostavljena shema dizalice topline s mogućnošću preokretanja procesa [1]

### 6.1.1. Isparivač

Isparivač dizalice topline je izmjenjivač topline u kojem radna tvar izmjenjuje toplinu s posrednim medijem (vodom, rasolinom, zrakom), pri čemu se on ohladi.

Proces u isparivaču započinje ulaskom radne tvari koja je u stanju mokre pare, odnosno ponaša se kao smjesa kapljevine i pare. Potom u isparivaču pri konstantnom tlaku dolazi do njezinog isparavanja do granice zasićenja zbog dovođenja topline iz neposredne okoline.

Ovisno o izvedbi dizalice topline, odnosno o toplinskom izvoru koji se koristi, postoji više izvedbi isparivača:

1. isparivač za dizalice topline s tлом kao toplinskim izvorom (posredni medij su rasoline ili glikolne smjese):
  - pločasti (kompaktnih dimenzija i najčešće u primjeni)
  - s cijevnom sponom
  - s dvostrukom koaksijalnom cijevi



2. isprivač za dizalice topline s podzemnom vodom kao toplinskim izvorom (posredni medij je voda):
  - pločasti od nehrđajućeg čelika
  - s dvostrukom koaksijalnom cijevi od bakra ili legure bakra i nikla
3. isparivač za dizalice topline s tlom kao toplinskim izvorom i izravnim isparavanjem (ne koristi se posredni medij, već se toplina izmjenjuje izravno s tlom)
4. isparivač za dizalice topline s površinskom vodom kao toplinskim izvorom (posredni medij je voda):
  - pločasti
5. isparivač za dizalice topline sa zrakom kao toplinskim izvorom (posredni medij je zrak):
  - lamelasti, s bakrenim cijevima i lamelama od bakra ili aluminija
  - s cijevnom zmijom

### 6.1.2. Kompresor

Kompresor je dio rashladnog sustava (kompresijske dizalice topline ili rashladnog uređaja) u kojem se radnoj tvari u plinovitom stanju dovođenjem energije (rada) povišuje energetska razina (tj. tlak i temperatura) čime se i omogućava njezino kruženje kroz rashladni sustav. Drugim riječima zadatak kompresora je povišati temperaturu i tlak radne tvari na vrijednost na kojoj se omogućava njezina kondenzacija na temperaturi koja je viša od temperature ogrijevnog medija.

Ovisno o načinu na koji se izvodi stlačivanje, postoji nekoliko izvedbi kompresora:

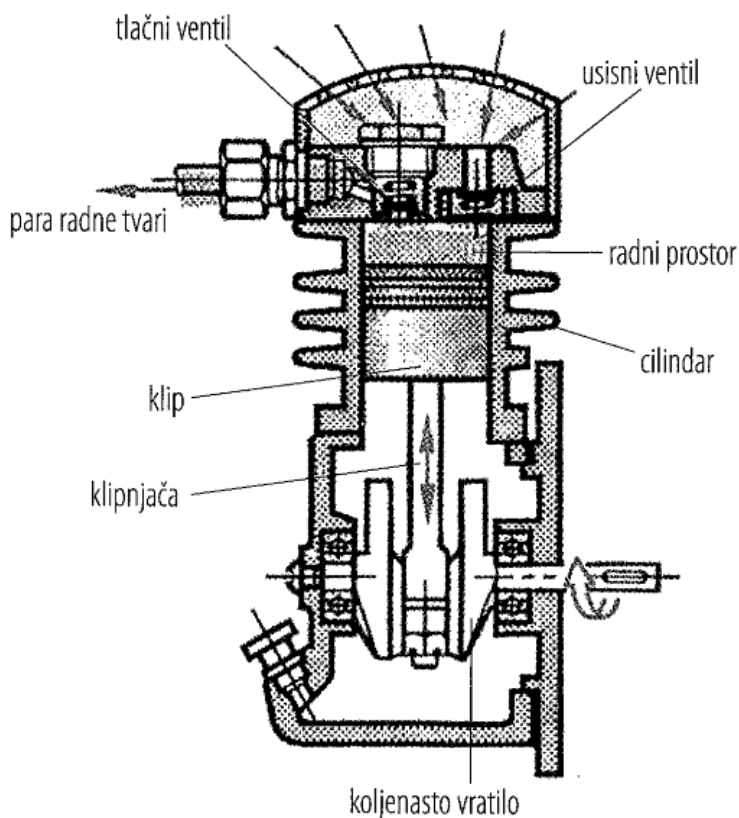
- klipni kompresor
- vijčani kompresor
- spiralni kompresor
- turbokompresor

Ovisno o načinu ugradnje pogonskog motora, kompresori mogu biti:

- otvoreni
- poluhermetički
- hermetički

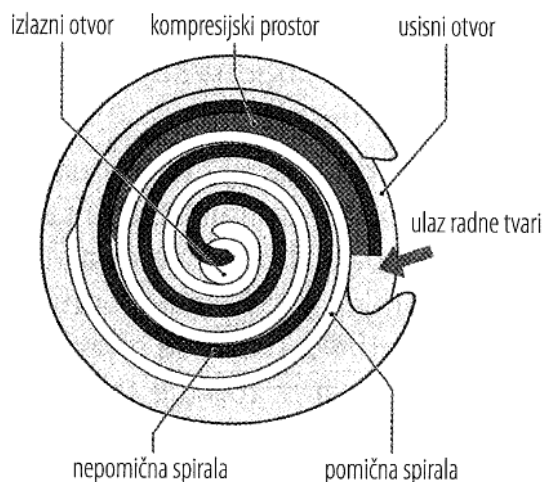
U dizalicama topline uglavnom se koriste klipni i spiralni kompresori.

Klipni kompresori stlaču radnu tvar u cilindru naizmjeničnim pomacima klipa iz donje u gornju mrtvu točku (sl.7). Određene količine radne tvari u cilindar ulazi dok je klip u donjoj, a iz njega izlazi kada je u gornjoj mrtvoj točki, pri čemu se on pomiče pod djelovanjem koljenastog vratila. U dizalicama topline najčešće se koriste hermetički klipni kompresori.



Slika 7. Shema klipnog kompresora [1]

Spiralni kompresori stlaču radnu tvar pomicanjem pomične unutar nepomične spirale (puža) tako da sužava prostor u kojem se ona nalazi pa se ona stlaču (sl.8). Time se stalno i ravnomjerno potiskuje, odnosno stalčije jednaka količina radne tvari. Po svojoj se izvedbi spiralni kompresori koji se koriste za dizalice topline također ubrajaju u hermetičke.



Slika 8. Pojednostavljen prikaz rada spiralnog kompresora [1]

### 6.1.3. Kondenzator

Kondenzator dizalice topline je izmjenjivač topline u kojem radna tvar izmjenjuje toplinu s ogrijevnim medijem sustava grijanja (vodom, zrakom i sl.) koji se pri tome zagrijava. Stoga je njegov zadatak predaja topline ogrijevnom mediju sustava grijanja.

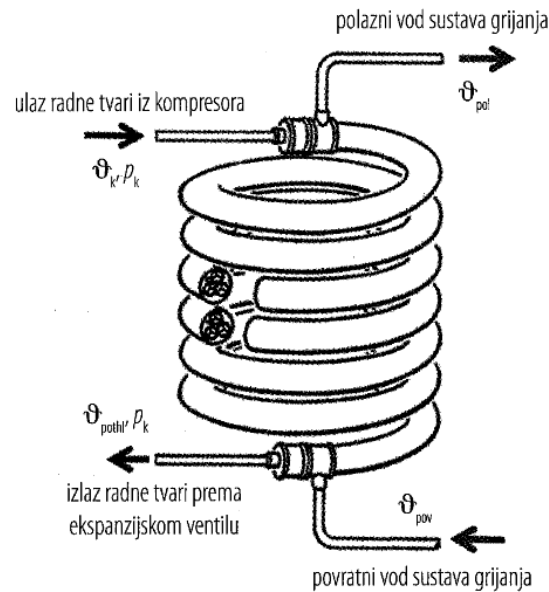
Proces u kondenzatoru započinje ulaskom radne tvari koje je posve u plinovitom stanju, odnosno ponaša se kao plin. Potom se ona najprije hladi na temperaturu kondenzacije i zatim kondenzira (tj. ukapljuje se) na konstantnoj temperaturi i tlaku, pri čemu se toplina predaje neposrednoj okolini. Uz to, prije ulaska u ekspanzijski ventil radna tvar se dodatno pothlađuje na temperaturu pothlađivanja. Kondenzator se stoga može podijeliti na tri zone, ovisno o procesu koje se u njima odvija: zonu pregrijavanja, kondenzacije i pothlađivanja,

S obzirom na ogrijevni medij koji se koristi, postoje dvije izvedbe kondenzatora za dizalice topline:

- vodom hlađeni, kada se kao ogrijevni medij koristi voda (za sustave toplovodnog grijanja i pripreme PTV-a)
- zrakom hlađeni, kada se kao ogrijevni medij koristi zrak (za sustave toplozračnog grijanja, ventilacije i klimatizacije)

S obzirom na konstrukciju, u dizalicama topline se najčešće koriste ove dvije izvedbe:

- pločasti od nehrđajućeg čelika
- s dvostrukom koaksijalnom cijevi od bakra ili legure bakra i nikala (sl.9)



Slika 9. Pojednostavljena shema kondenzatora s dvostrukom koaksijalnom cijevi [1]

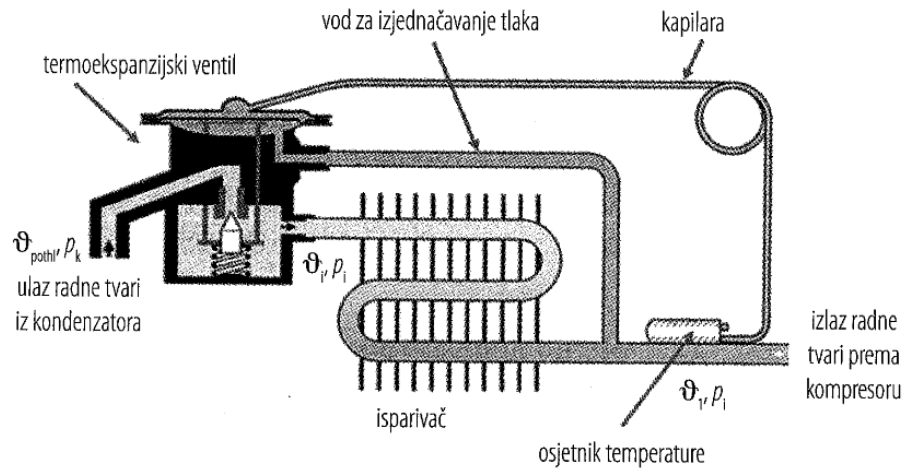
#### 6.1.4. Ekspanzijski ventil

Ekspanzijski (prigušni) ventil je dio dizalice topline (rashladnog uređaja) u kojoj se radnoj tvari u kapljevitom stanju snižava energetska razina (tj. temperatura i tlak).

Proces u ekspanzijskom ventilu započinje ulaskom radne tvari koje je posve u kapljevitom stanju, a često i pothlađena. Potom ona ekspandira, uz snižavanje temperature i tlaka do vrijednosti temperature i tlaka isparavanja s kojima ulazi u isparivač, pri čemu ona djelomično isparava.

Najčešće se koriste tri osnovne izvedbe ekspanzijskih ventila:

- jednostavna kapilarna cijev
- termostatski ekspanzijski (termoekspanzijski) ventil (sl.10)
- elektronički ekspanzijski ventil



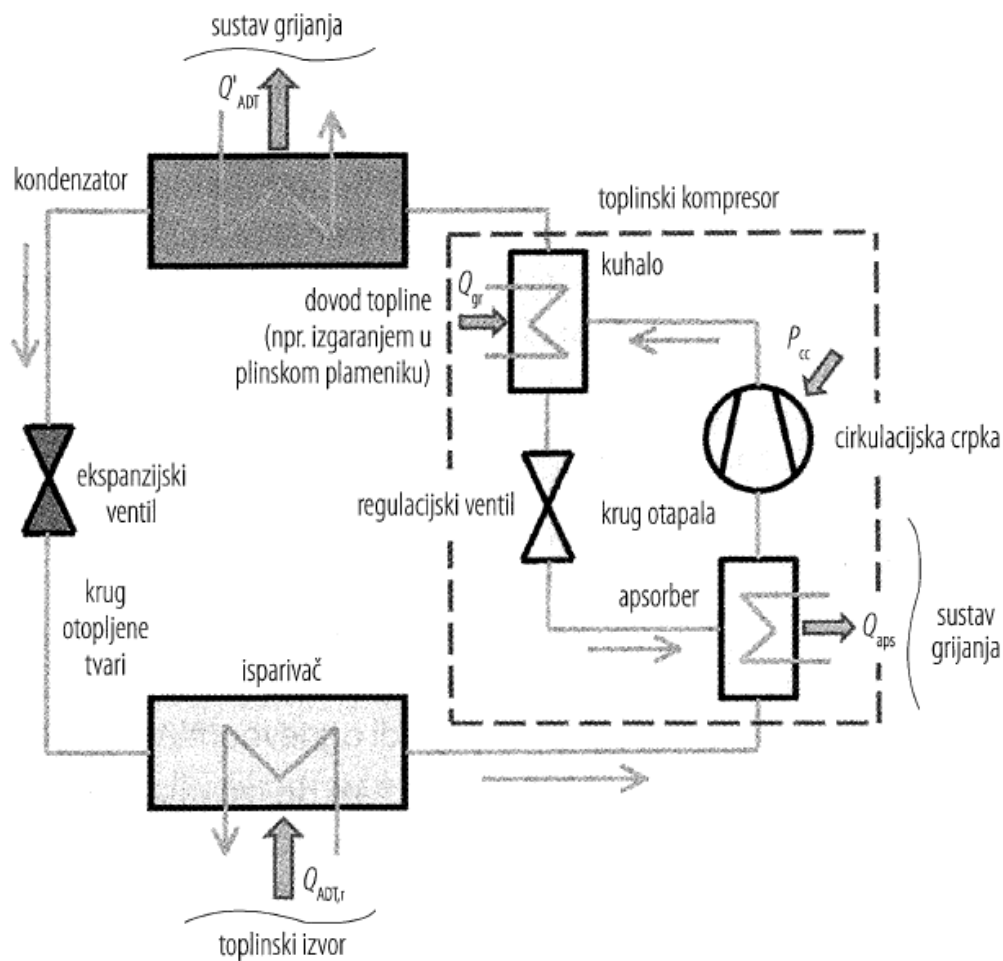
Slika 10. Pojednostavljena shema termoekspanzijskog ventila s vanjskim izjednačavanjem tlaka i njegove uloge u rashladnom sustavu [1]

## 6.2. Apsorpcijske dizalice topline

Apsorpcijske dizalice topline za povišenje energetske razine (temperature i tlaka) radne tvari, odnosno za omogućavanje kružnog procesa koriste toplinu dovedenu izvana (npr. izgaranjem prikladnog goriva u plameniku). Pri tome se koristi tzv. toplinski kompresor čije se djelovanje osniva na fizikalnom procesu apsorpcije, koji se pojednostavljeno može opisati kao upijanje čestica neke tvari (atoma, molekula ili iona) u neku drugu (plinovitu, kapljevitu ili čvrstu) tvar.

Sastoji se od sljedećih dijelova (sl.11):

- isparivača
- toplinskog kompresora s odgovarajućim izvorom topline
- kondenzatora
- ekspanzijskog ventila
- spojnih vodova
- regulacijskih pomoćnih elemenata



Slika 11. Pojednostavljen prikaz sastavnih dijelova apsorpcijske dizalice topline [1]

Spojevi apsorpcijskih dizalica topline na sustav grijanja i na toplinski izvor izvode se jednako kao kod kompresijskih. Ipak, kod apsorpcijskih dizalica topline koje kao dodatni izvor topline koriste plamenik (plinski ili na loživo ulje), potreban je i spoj za dovod goriva. Ako se pri tome kao gorivo koristi prirodni ili ukapljeni plin, spoj se izvodi u skladu s propisima za plinske instalacije.

Toplinsku bilancu apsorpcijske dizalice topline opisuje jednadžba:

$$\Phi_{gr} + \Phi_{ADT,r} = \Phi'_{ADT} + \Phi_{aps}$$

Pri čemu su:

$\Phi_{gr}$  - toplinski učin grijača, W

$\Phi_{ADT,r}$  - rashladni učin (isparivača) apsorpcijske dizalice topline, W

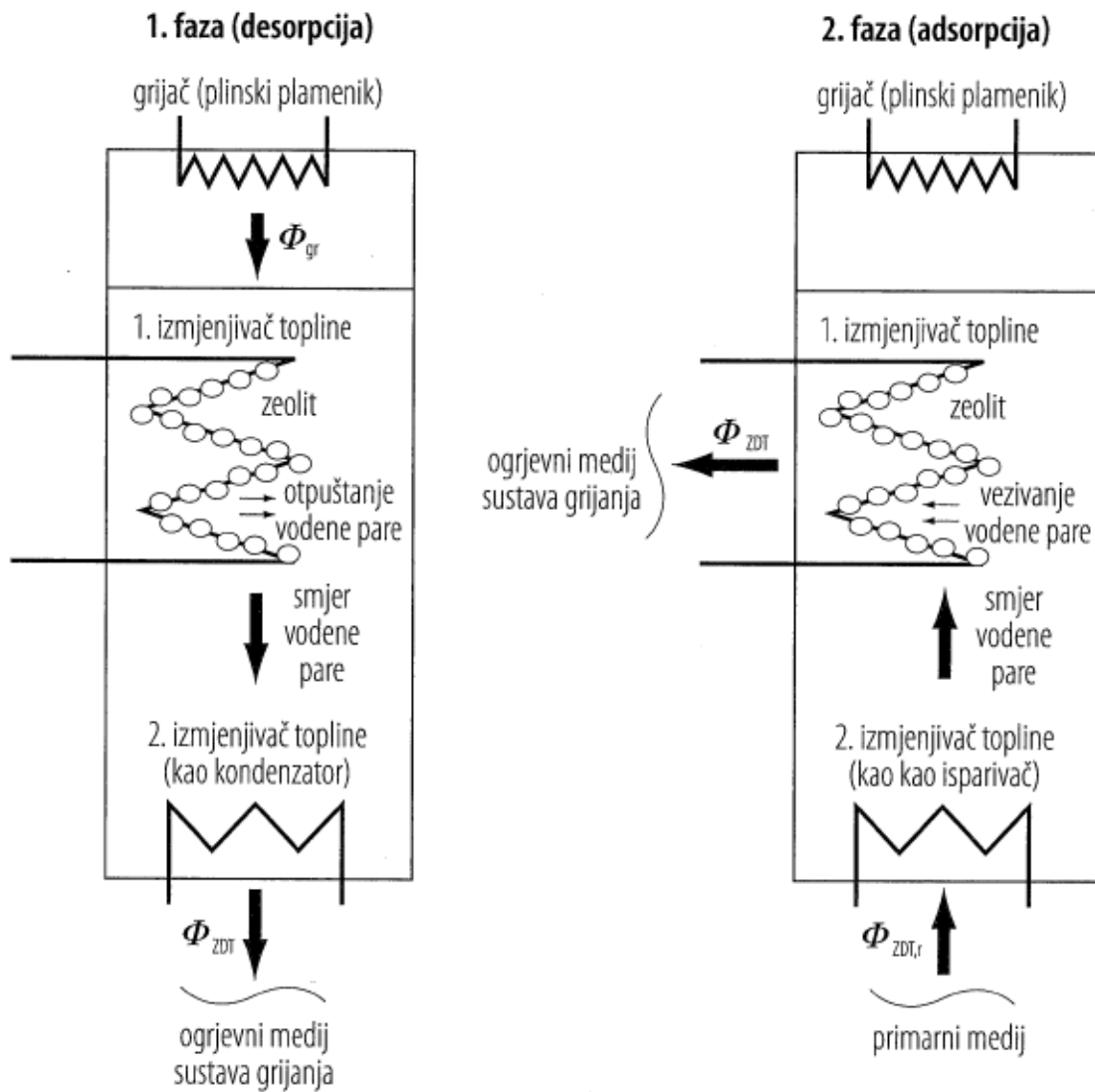
$\Phi'_{ADT}$  - toplinski učin (kondenzatora) apsorpcijske dizalice topline, W

$\Phi_{aps}$  - toplinski učin apsorbera, W

### **6.3. Adsorpcijske dizalice topline**

Adsorpcijska dizalica topline za povišenje energetske razine (tlaka i temperature) radne tvari, odnosno za omogućavanje kružnog procesa također koriste toplinu dovedenu izvana (npr. izgaranjem prikladnog goriva u plameniku). Pri tome se isto tako koristi toplinski kompresor, ali se njegovo djelovanje u tom slučaju osniva na fizikalnom procesu adsorpcije, što se pojednostavljeno može opisati kao stvaranje sloja kapljevite ili plinovite tvari na površini druge, čvrste ili kapljevite tvari.

Djelovanje adsorpcijskih dizalica topline osniva se na činjenici da je proces vezivanja vode (adsorpcija) na adsorbent egzoterman, tj. da pri tome nastaje toplina koja se mora odvoditi. Adsorpcijske dizalice topline sastoje se od dva izmjenjivača topline u kojima naizmjenice dolazi do izmjene topline s ogrijevnim, odnosno posrednim medijem, pri čemu se proces odvija u dvije faze (sl.12). u prvoj fazi (desorpciji) se adsorbentu koji se nalazi na prvom izmjenjivaču topline dovodi dodatna toplina izvana. Voda iz adsorbenta se zbog dovođenja topline izdvaja u obliku vodene pare i odlazi do drugog izmjenjivača na kojem kondenzira, pri čemu se toplina predaje ogrijevnom mediju sustava grijanja, što znači da drugi izmjenjivač tada služi kao kondenzator. Prva faza završava kada se iz adsorbenta na prvom izmjenjivaču izdvojila sva voda i kada je ona na drugom izmjenjivaču u cijelosti kondenzirala, a tada prestaje dovod dodatne topline preko grijača. U drugoj fazi (adsorpciji) drugom izmjenjivaču topline dovodi se toplina od posrednog medija i na njemu dolazi do isparavanja vode, odnosno on postaje isparivač. Nastala vodena para odlazi prema prvom izmjenjivaču gdje na sebe veže zeolit, a kako je reakcija egzotermalna, nastaje toplina koja se predaje ogrijevnom mediju sustava grijanja. Druga faza završava kada je adsorbent na prvom izmjenjivaču vezao svu vodenu paru i proces tada može početi od početka.



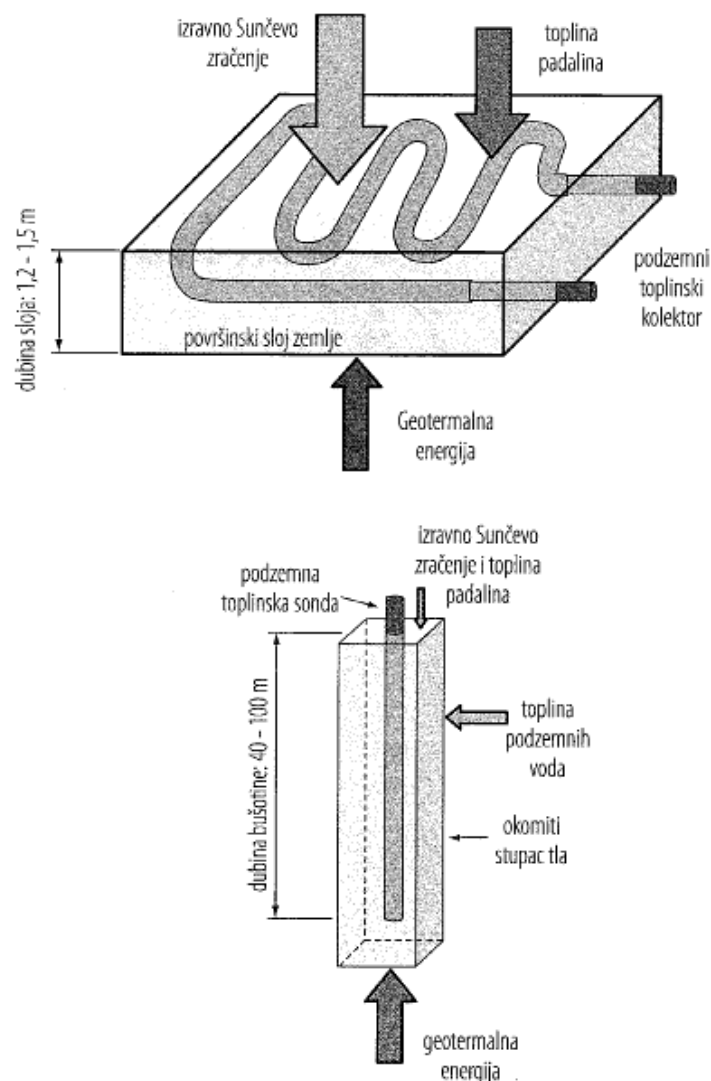
Slika 12. Pojednostavljena shema procesa u adsorpcijskoj dizalici topline [1]



## 7. TOPLINSKI IZVORI DIZALICE TOPLINE

### 7.1. Tlo kao toplinski izvor

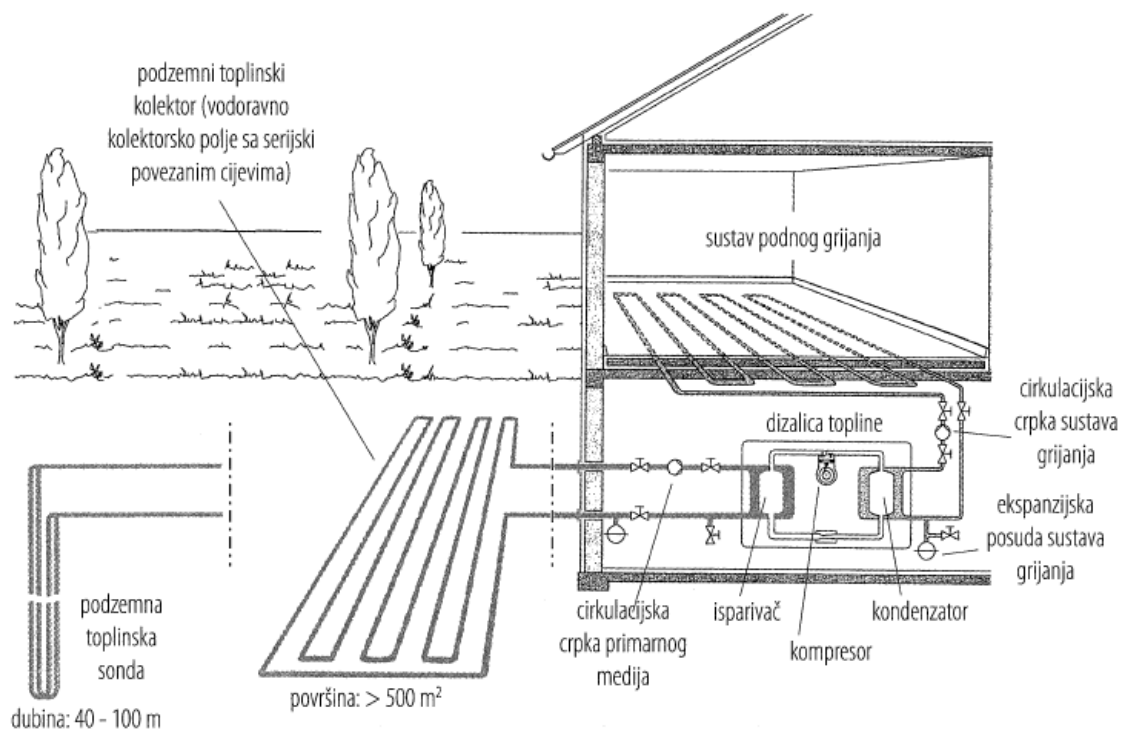
Tlo kao toplinski izvor za dizalice topline misli se na toplinsku energiju površinskih ili podzemnih slojeva Zemlje. Ona najvećim dijelom potječe od Sunčeve energije koja je do tla došla zračenjem ili izmjenom topline s oborinama, a manjim dijelom od geotermalne energije same Zemlje (sl.13.). Osnovna značajka tla kao toplinskog izvora je sposobnost pohrane toplinske energije cijele godine, što omogućava njegovo iskorištavanje također cijele godine. Izmjena topline s tlom ovisi o njegovom koeficijentu toplinske vodljivosti, gustoći i sastavu te specifičnom odavanju topline.



Slika 13. Shema iskorištavanja tla kao toplinskog izvora za dizalice topline [1]

Za iskorištavanje topline tla koriste se dizalice topline tlo-voda (rasolina-voda). Kako bi se omogućila izmjena topline između tla i posrednog medija dizalice topline koriste se izmjenjivači topline koji se ukopavaju u tlo. Pri tome postoje dvije osnovne izvedbe izmjenjivača (sl.14):

- podzemni toplinski kolektori ili kolektorsko polje
- podzemne toplinske sonde



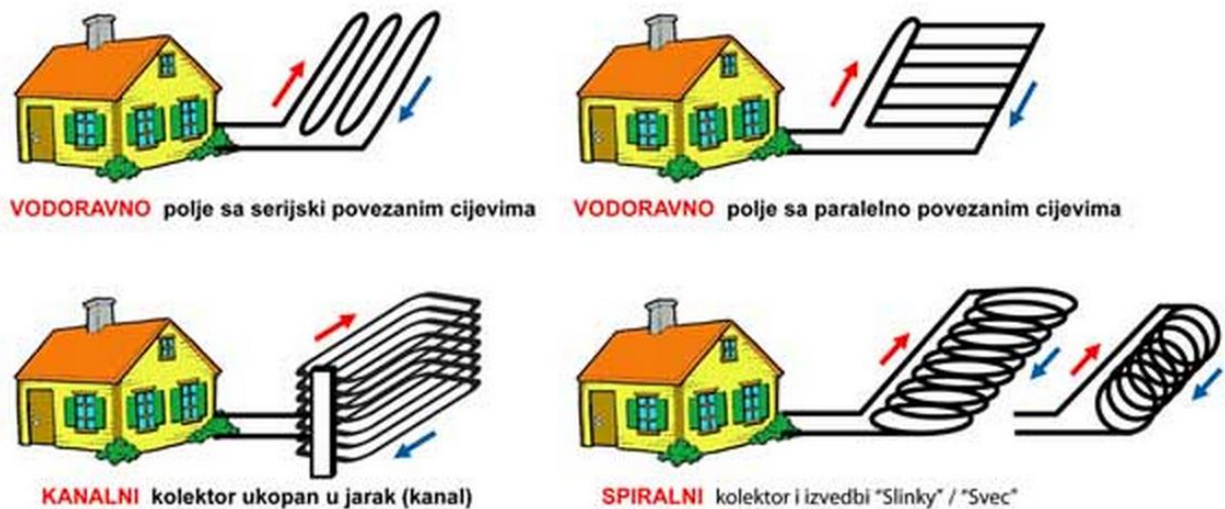
Slika 14. Pojednostavljeni prikaz sustava grijanja s dizalicom topline tlo - voda s podzemnim toplinskim kolektorima i toplinskom sondom [1]

Kao posredni medij koriste se rasoline ili glikolne smjese. Osnovni zahtjev koje se postavlja na posredni medij je onemogućavanje njegovog smrzavanja u cijevima i smanjivanje padova tlaka pri prolasku kroz cijevi. Posredni medij preuzima toplinu od tla koje se pri tome hladi i predaje je radnoj tvari na isparivaču dizalice topline.

### 7.1.1. Podzemni toplinski kolektori

Podzemni toplinski kolektori služe za izmjenu topline posrednog medija i površinskih slojeva tla (do dubine 2m) kod primjene dizalica topline tlo - voda. Pojavljuju se izmjenjivači topline u nekoliko osnovnih izvedbi (sl.15):

- vodoravna kolektorska polja (sa serijski ili paralelno povezanim cijevima)
- kanalni kolektori u jarku
- spiralni kolektori (izvedbe "Slinky" i "Svec")



Slika 15. Osnovne izvedbe podzemnih toplinskih kolektora [4]

Pri dimenzioniranju podzemnog toplinskog kolektora treba voditi računa o sljedećem:

- sastavu tla, što utječe na njegov toplinski kapacitet, izmjenu topline i mogućnost njegove regeneracije
- namjeni zemljišta (nesmije biti predviđeno za izgradnju, iskapanje ni sadnju većeg bilja)
- rasponu temperature tla (npr. 0 - 17°C)
- temperaturnom radnom području dizalice topline, odnosno temperaturi posrednog medija
- raspoloživosti tla kao toplinskog izvora (cijele godine ili samo dijelu godine)
- načinu rada sustava grijanja s dizalicom topline (monovalentan ili bivalentan)

Na osnovi tih podataka dimenzionira se cijevni razvod i cirkulacijska crpka te određuje pogonski parametri sustava kao što su protok posrednog medija, padovi tlaka i sl.

Kao materijal za izradu cijevi kolektora najčešće se koristi polietilen (plastika) koji ima dobra toplinska (koeficijent toplinske vodljivosti) i fizikalna svojstva (otpornost na tlak i vlagu).

Vodoravna kolektorska polja najčešća su izvedba podzemnih toplinskih kolektora dizalica topline tlo - voda. Orijentacijski se može uzeti da bi površina zemljišta za polaganje kolektorskog polja trebala biti barem dva puta veća od površine prostora u zgradi koji treba grijati. Radi toga bi za sustav grijanja obiteljske kuće stambene površine 200 - 250 m<sup>2</sup> s dizalicom topline najmanja površina zemljišta za polaganje kolektora trebala iznositi oko 500 m<sup>2</sup>. Duljina pojedine petlje kolektorskog polja ne bi smjela biti veća od 100 m kako bi se izbjegli veliki padovi tlaka.

Točna vrijednost ukupne površine zemljišta za polaganje vodoravnog kolektorskog polja određuje se jednadžbom:

$$A_{\text{zem,kol,uk}} = \frac{\Phi_{\text{DT,r}}}{\rho_{\text{tlo}}}$$

Pri čemu su:

$$\Phi_{\text{DT,r}} = \Phi_{\text{DT}} - P_{\text{el, komp}} = \Phi_{\text{DT}} \cdot \left(1 - \frac{1}{\varepsilon_{\text{DT}}}\right) - \text{rashladni učin dizalice topline (isparivača), W}$$

$\Phi_{\text{DT}}$  - toplinski učin dizalice topline (kondenzatora), W

$P_{\text{el,komp}}$  - električna snaga kompresora (kompresijske) dizalice topline, W

$\varepsilon_{\text{DT}}$  - faktor grijanja dizalice topline

$\rho_{\text{tlo}}$  - specifično površinsko odavanje topline tla, W/m<sup>2</sup>

Ukupna duljina cijevi vodoravnog kolektorskog polja određena je jednadžbom:

$$L_{\text{uk}} = \frac{A_{\text{zem,kol,uk}}}{s} = \frac{\Phi_{\text{DT,r}}}{\rho_{\text{tlo}} \cdot s}$$

Pri čemu su:

$L_{\text{uk}}$  - ukupna duljina cijevi, m

$s$  - međusobni razmak cijevi, m



Slika 16. Vodoravno kolektorsko polje sa serijskim povezanim cijevima [4]

Kanalni kolektori u jarku također su vrlo česta izvedba podzemnih toplinskih kolektora dizalica topline tlo - voda. Radi se izvedbi koja omogućava specifično najveće odavanje topline tla:  $100 - 130 \text{ W/m}^2$ , uz prosječnu temperaturu tla tijekom zime  $+2^\circ\text{C}$ , pri tome se u iskopan kanal polaže petlja kolektorskih cijevi u spiralnom obliku, čime se zauzima mnogo manja površinska zemljišta. Za ugradnju vrijedi nekoliko osnovnih smjernica:

- dubina polaganja: 1,6 - 2,0 m
- najmanja širina kanala: 0,08 m
- duljina kanala: 20 - 30 m
- materijal i dimenzije cijevi kolektora: polietilen,  $\text{Ø}32 \times 3 \text{ mm}$
- duljina cijevi u petlji: 125 m
- razmak cijevi: 3 m



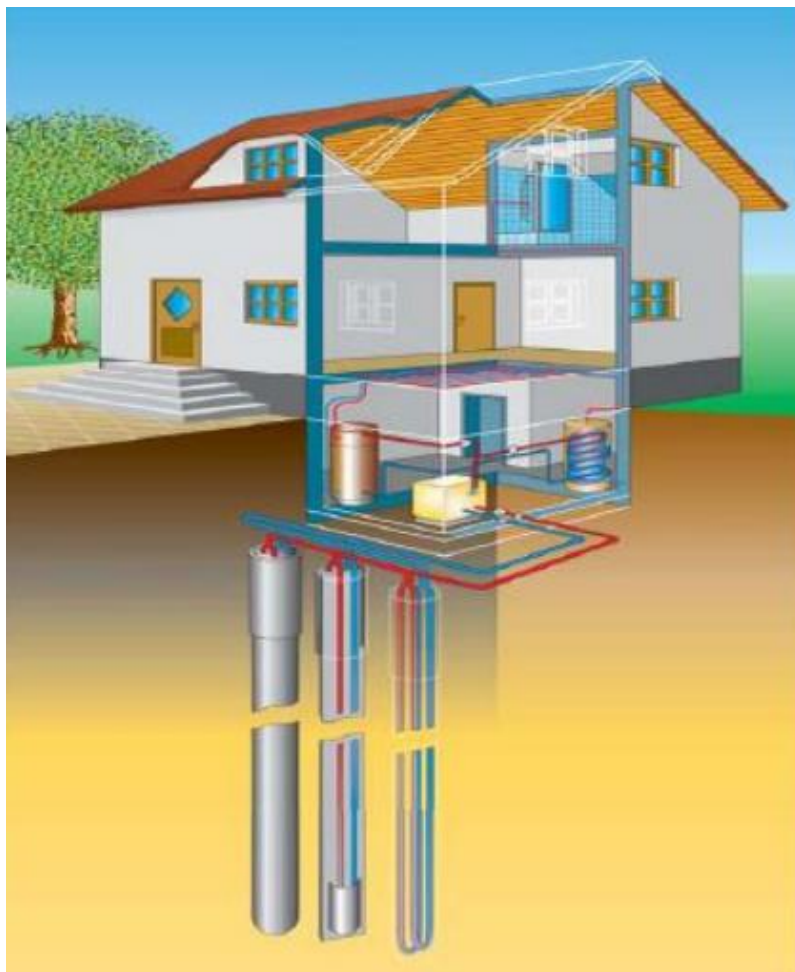
Slika 17. Spiralni kanalni kolektor u jarku [4]

### 7.1.2. Podzemne toplinske sonde

Podzemne toplinske sonde služe za izmjenu topline posrednog medija i dubokih slojeva tla kod primjene dizalica topline tlo - voda. Radi se o okomitim izmjenjivačima topline koji se uobičajeno koriste kada na raspolaganju nisu veće slobodne površine zemljišta. Dubina, promjer i broj bušotina u koje se ugrađuju cijevi izmjenjivača ovise o potrebama prostora za toplotom, odnosno o toplinskom i rashladnom učinku dizalice topline.

Dvije su uobičajene izvedbe podzemnih toplinskih sonda (sl.18):

- dvostruka U-cijev od polietilena, pri čemu kroz jedan krak ulazi ohlađeni posredni medij iz dizalice topline, a kroz drugi se vraća zagrijan
- koaksijalna cijev, pri čemu je unutarnja cijev od polietilena i u nju ulazi ohlađeni posredni medij iz dizalice topline, dok je vanjska cijev od nehrđajućeg čelika i kroz nju se vraća zagrijani medij



Slika 18. Shema podzemne toplinske sonde [5]

Specifično odavanje topline tla kod primjene podzemnih toplinskih sonde prosječno iznosi 25 - 100 W/m dubine bušotine, a značajno ovisi o sastavu i kvaliteti tla, jer količina vlage i prozirnost imaju velik utjecaj na toplinsku vodljivost (tablica 5).

Potrebna duljina sonde određuje se na osnovi rashladnog učina dizalice topline i specifičnog odavanja topline tla pomoću jednadžbe:

$$L_{\text{sonda}} = \frac{\Phi_{\text{DT,r}}}{\rho'_{\text{tlo}}}$$

Pri čemu su:

$L_{\text{sonda}}$  - duljina sonde, m

$\rho'_{\text{tlo}}$  - specifično dubinsko odavanje topline tla, W/m (tablica 4)

Tablica 5. Specifično odavanje topline tla za primjenu podzemnih toplinskih sonde

vrsta tla	specifično dubinsko odavanje topline tla $\rho'_{\text{tlo}}$ , W/m
suhi sedimenti	30
škriljac	55
glina i vlažna ilovača	35
vapnenac	55
pješčenjak	60
gnajs	65
šljunak i pijesak	20
stijenje s velikom toplinskom vodljivošću	80
slojevi s podzemnim vodama	100

Pri ugradnji toplinskih sonde u obzir treba uzimati:

- promjer cijevi sonde: 25, 32 ili 40 mm
- prosječnu duljinu sonde: 40 - 100 mm
- najmanju udaljenost između bušotina: 5 m (za sonde duljine 40 - 50 m), odnosno 6 m (za sonde duljine od 50m)
- najmanju udaljenost od temelja okolnih zgrada: 2 m
- izvedbu spojenih cijevi (moraju biti s usponom zbog odzračivanja)
- kvalitetu, odnosno vrstu tla te raspored podzemnih slojeva (bitno za izvođenje bušotine kako se ne bi prekinuo sloj podzemne vode).

Nakon izvođenja bušotine i umetanja sonde, međuprostor se zapunjava prikladnom suspenzijom (npr. bentonitom, kvarcnim pijeskom). Kako bi se olakšalo umetanje, sonda se puni vodom, a često se na njezin najdonji dio postavlja prikladan teret. Uz to, prije i nakon umetanja sonde u bušotinu treba provesti tlačne probe. Spajanje sustava sonde s dizalicom topline, odnosno prolazak cijevi kroz zid zgrade te punjenje sustava glikolnom smjesom izvodi se isto kao i za podzemne toplinske kolektore.

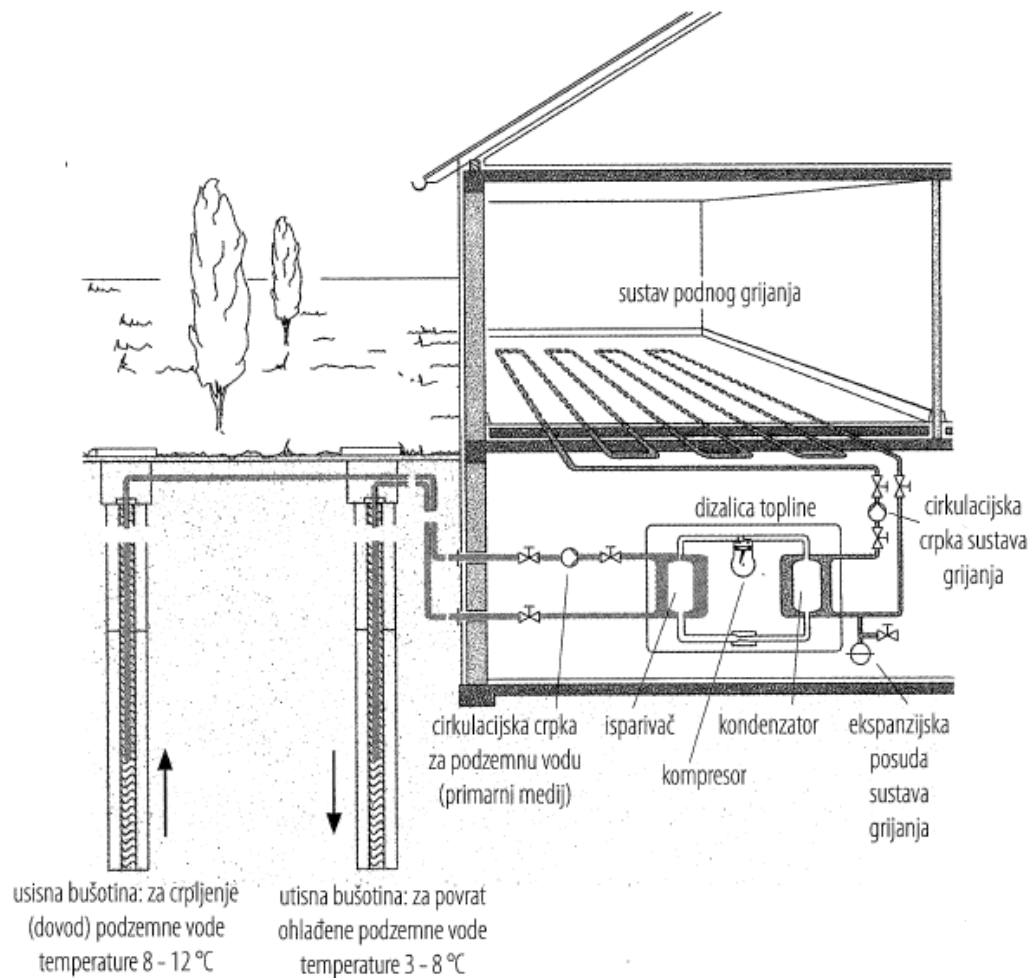
## **7.2. Voda kao toplinski izvor**

Voda kao toplinski izvor za dizalicu topline, misli se na toplinsku energiju površinskih (potoka, rijaka, kanala, jezera, mora), podzemnih ili otpadnih voda.

Za iskorištavanje toplinske energije vode koriste se dizalice topline voda - voda. Sustav pri tome može biti izveden kao izravni, kada se podzemna voda (uz filtriranje) izravno dovodi do isparivača dizalice topline (sl.19). S gledišta pogonske sigurnosti i održavanja (čišćenje isparivača) prednost treba dati neizravnoj izvedbi, odnosno ugradnji dodatnog izmjenjivača topline. Voda se tada iz jedne bušotine (usisne ili dobavne), vodene površine ili vodotoka crpi, a kroz drugu (utisnu ili povratnu) bušotinu vraća u podzemne slojeve, vodenu površinu ili vodotok.

Sustav može biti izveden i kao kod dizalica topline tlo - voda, pri čemu se na dno vodene površine (jezera, rijeke, mora) postavlja podvodni toplinski kolektor kroz koji struji prikladni posredni medij. U oba slučaja za prijenos vode do isparivača dizalice topline potrebna je cirkulacijska crpka koja se dimenzionira kao i za sustave s dizalicom topline tlo - voda. Pri tome za polaganje i dimenzioniranje podvodnog kolektora vrijede iste smjernice kao i za podzemne kolektore.





Slika 19. Pojednostavljeni prikaz sustava grijanja s dizalicom topline voda - voda s bušotinama za crpljenje podzemne vode [1]

Za iskorištavanje podzemne vode kao toplinskog izvora treba izbušiti dvije bušotine na najmanjoj udaljenosti 10 m, pri čemu utisna mora biti nizvodno (gledajući u smjeru toka vode) od usisne (sl.20). Najmanji protok podzemne vode trebao bi iznositi  $2 \text{ m}^3/\text{h}$ , što se može postići na 5m dubini (ovisno i hidrogeološkim značajkama). Dizalice topline voda - voda koje koriste podzemne vode najčešće imaju veće toplinske učine.

Uronjena crpka za crpljenje podzemne vode iz usisne bušotine odabire se na osnovi ukupnog pada tlaka koji se određuje jednadžbom:

$$\Delta p_{uk} = \Delta p_h + \Delta p_\lambda + \Delta p_a + \Delta p_{DT}$$

Pri čemu su:

$\Delta p_{uk}$  - ukupni tlak u instalaciji, Pa

$\Delta p_h - \rho \cdot g \cdot h$  - potrebna visina dobave, Pa

$\rho$  - gustoća vode,  $\approx 1000 \text{ kg/m}^3$

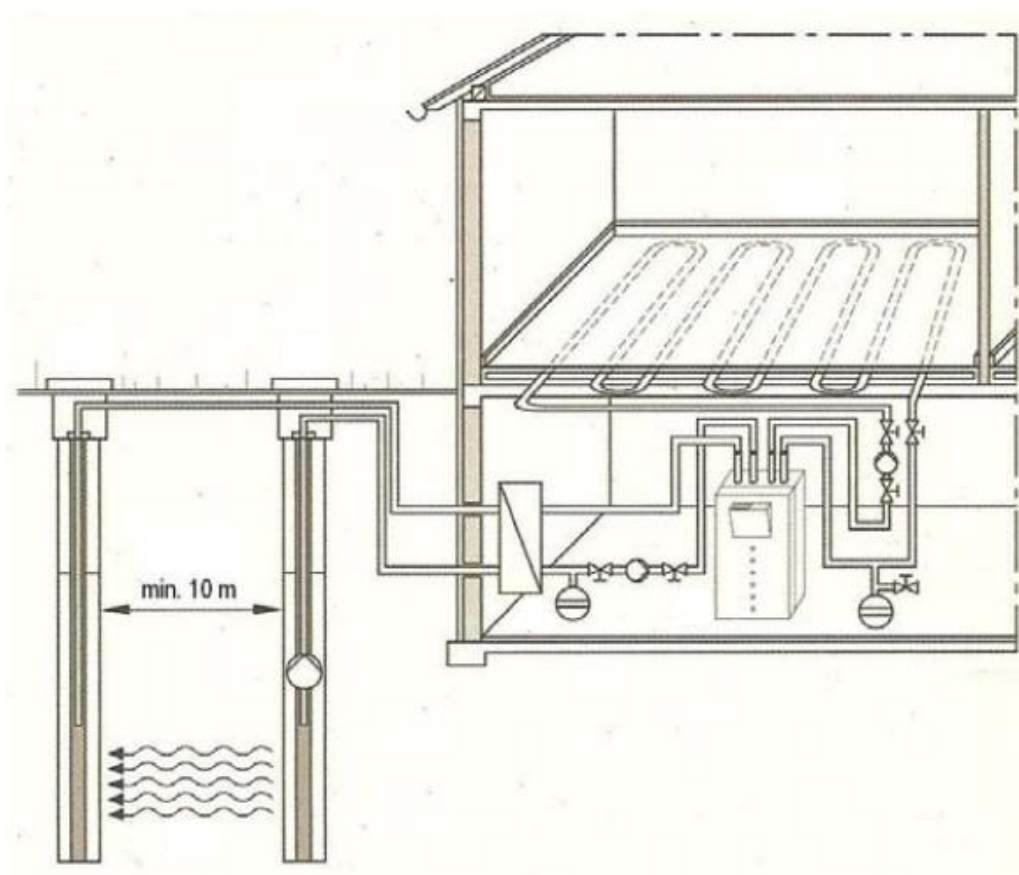
$g$  - sila teža,  $\approx 9,78 \text{ m/s}^2$

$h$  - dubina ugradnje crpke, m

$\Delta p_\lambda$  - linijski pad tlaka u cijevima, Pa

$\Delta p_a$  - pad tlaka u armaturi, filtru, vodomjeru i sl., Pa

$\Delta p_{DT}$  - pad tlaka u dizalici topline, Pa

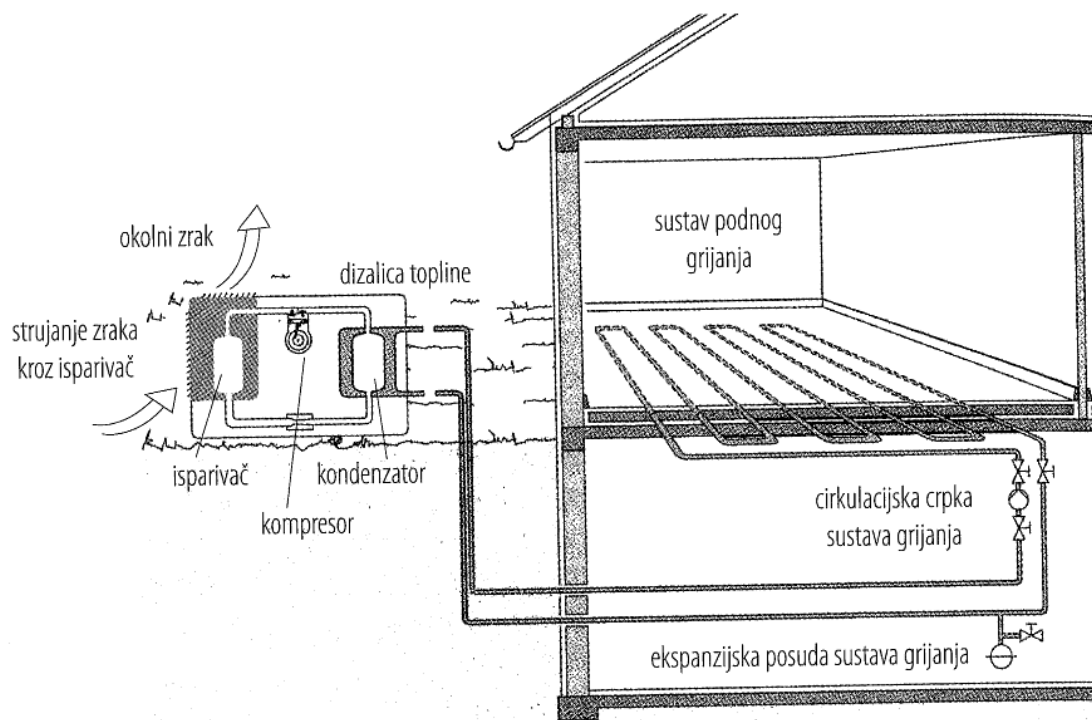


Slika 20. Shema bušotina za iskorištavanje podzemne vode kao toplinskog izvora za dizalice topline voda - voda [11]

### 7.3. Zrak kao toplinski izvor

Zrak kao toplinski izvor za dizalice topline, misli se na toplinsku energiju okolnog (vanjskog) ili otpadnog, istrošenog ili onečišćenog zraka iz sustava ventilacije i klimatizacije.

Za iskorištavanje toplinske energije zraka koriste se dizalice topline zrak - voda ili voda - voda. Pri tome se kao dizalice topline zrak - zrak često koriste klima-uređaji kod kojih je omogućeno preokretanje rashladnog procesa (sl.21). Kod dizalica topline zrak - voda dobivena se toplina može koristiti u sustavu toplovodnog (niskotemperaturnog) grijanja ili klimatizacije, a kod dizalica topline zrak - zrak u sustavu ventilacije i klimatizacije (toplozračno grijanje i sl.) ili se zrak zagrijan prolaskom kroz kondenzator izravno ubacuje u prostoriju.



Slika 21. Pojednostavljen prikaz sustava grijanja s dizalicom topline zrak - voda [1]

Dizalice topline zrak - voda i zrak - zrak pojavljuju se u tri osnovne izvedbe:

- za postavljanje na otvorenom
- za postavljanje u zatvorenom prostoru (kotlovnici, strojanici i sl.)
- u odvojenoj izvedbi

Iako je zrak kao toplinski izvor svuda dostupan i neiscrpan u obzir treba uzeti da faktor grijanja dizalice topline značajno opada sa snižavanjem vanjske temperature. Zbog toga je, kada su vanjske temperature niske, potreban dodatni izvor topline sustava grijanja (npr. kondenzacijski kotao na plin ili loživo uje ili električni kotao). Smatra se da dizalice topline zrak - voda i zrak - zrak mogu raditi do vanjih temperatura zraka  $-7^{\circ}\text{C}$ . U području niskih vanjskih temperatura postoji opasnost od zaleđivanja kondenzirane vlage na izmjenjivačkim ploham isparivača što izravno smanjuje izmjenu topline. Odleđivanje se tada izvodi preokretanjem rashladnog procesa ili dodatnim električnim grijačima, za što je potrebna dodatna potrošnja energije. Smatra se da ukupna potrošnja energije za odleđivanje isparivača dizalice topline zrak - zrak ili zrak - voda ne bi smjela biti veća od 10% energije koja se godišnje troši za pogon kompresora.

Optimalan protok zraka za ostvarivanje učinkovitog rada dizalice topline zrak - zrak i zrak - voda iznosi  $300 - 500 \text{ m}^3/(\text{h kW})$  rashladnog učina kompresora.

Osim vanjskog zraka, kao toplinski izvor se može koristiti i otpadni, istrošeni ili onečišćeni zrak iz prostorija. U većini sustava ventilacije i klimatizacije čak 45% ukupne potrošnje energije za grijanje otpada na zagrijavanje svježeg zraka pa se primjenom "otpadne" topline zraka koji se odvodi iz prostorija mogu ostvariti značajne uštede. Uz primjenu dizalice topline zrak - voda ta se otpadna toplina može iskoristiti u sustavu toplovodnog grijanja, pripreme PTV-a ili za zagrijavanje svježeg zraka.

#### **7.4. Sunce kao toplinski izvor**

Sunce kao toplinski izvor za dizalicu topline, misli se na toplinsku energiju dobivenu Sunčevim zračenjem.

Kako bi se toplinska energija „pretvorila“ u rashladnu energiju, koristi se apsorpcijski rashladnik odnosno apsorpcijska dizalica topline. Apsorpcijski rashladnik za svoj rad kao radnu tvar koristi smjesu dvije tvari, od kojih je jedna rashladna tvar koja cirkulira kroz isparivač i kondenzator, dok druga radna tvar mora imati mogućnost da otopi, odnosno, apsorbira prvu radnu tvar. Kao radna tvar koristi se kombinacija amonijaka  $\text{NH}_3$  i vode  $\text{H}_2\text{O}$ , gdje voda predstavlja otapalo dok amonijak kruži.

Osnove rada uređaja (sl.22):

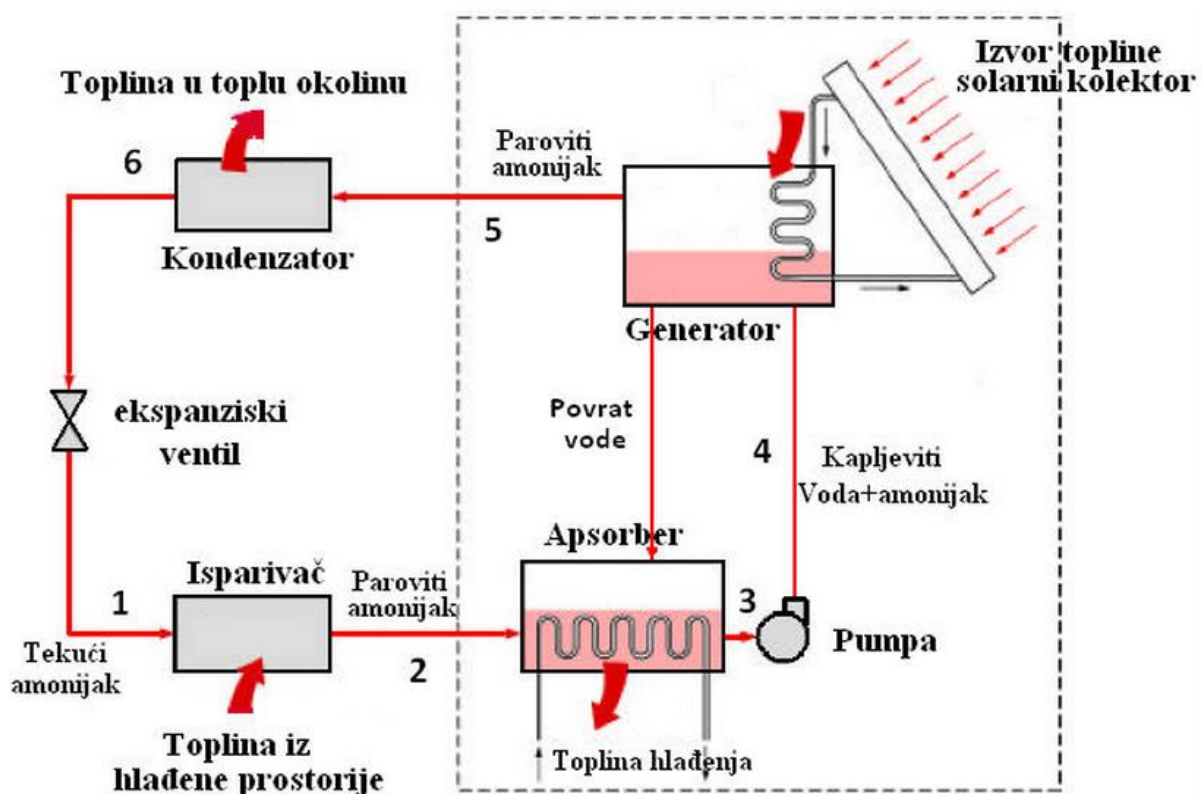
1-2 Proces započinje u isparivaču preko kojeg struji topli zrak, pri čemu radna tvar koja na isparivač dolazi u tekućem obliku, preuzima toplinu od zraka te isparava istovremeno hladeći topli zrak

2-3 Pinovita radna tvar ulazi u apsorber gdje se otapa u drugoj tvari pri čemu se oslobađa toplina

3-4 Mješavina će tada pomoću pumpe otići u generator

4-5 U generatoru se dodaje toplinska energija pri čemu dolazi do isparavanja prve tvari iz druge (otapala)

5-6 Pinovita radna tvar ulazi u kondenzator gdje predaje toplinu toplom vanjskom zraku (koji struji preko kondenzatora) pri čemu dolazi do njenog ukapljivanja čime je proces zaokružen (nakon što kapljevina prođe još kroz ekspanzijski ventil u kojem se reducira radni tlak)



Slika 22. Jednostavni apsorpcijski uređaj [7]

## 8. ZAKLJUČAK

U ovom završnom radu pisalo se o dizalici topline koja sustavu podiže toplinsku energiju s niže na višu energetska razinu. Primjenjuje se za grijanje obiteljskih domaćinstava, poslovnih objekata, škola, bolnica.

Korištenje principa dizalica topline ekološki je podobno jer izaziva nultu emisiju štetnih plinova.

Za izvor topline koristi okolni zrak, podzemne vodu, toplinu zemlje i zračenje Sunca te električnu energiju koju koristi za rad same dizalice topline. Toplinska energija koja se dobije upotrebom dizalice topline iskorištava se pomoću radijatorskog grijanja, podnoga grijanja ili grijanja samog prostora zrakom.

## 9. LITERATURA

- [1] Labudić B.: Osnove primjene dizalica topline, Energetika marketing, Zagreb 2009
- [2] Reknagel, Šprenger, Šramek, Čeperković: Grejanje i klimatizacija, Interklima, Vrnjačka Banja 2004
- [3] Uputa za projektiranje, sustavi toplinskih crpaka, viessman 2003
- [4] [http://www.eko-puls.hr/Toplinske\\_pumpe.aspx](http://www.eko-puls.hr/Toplinske_pumpe.aspx)
- [5] [http://www.hep.hr/esco/prezentacije/toplinske\\_pumpe.pdf](http://www.hep.hr/esco/prezentacije/toplinske_pumpe.pdf)
- [6] [http://www.riteh.uniri.hr/zav\\_katd\\_sluz/zvd\\_teh\\_term\\_energ/katedra4/Inzenjerstvo\\_zastite\\_okolisa/2.pdf](http://www.riteh.uniri.hr/zav_katd_sluz/zvd_teh_term_energ/katedra4/Inzenjerstvo_zastite_okolisa/2.pdf)
- [7] <http://www.zelenaenergija.org/clanak/trigeneracija-i-solarno-apsorpcijsko-hladenje/1670>
- [8] <http://www.hkis.hr/Upload/Documents/SSU/ZagrebackiEnergetskiTjedan/Predavanje%20dizalice%20topline%20V.Soldo.pdf>
- [9] <http://www.mariterm.hr/QuestionDetails/185/lang/Croatian/Sto-je-to-DIZALICA-TOPLINE.wshtml>
- [10] <http://www.mcsolar.hr/toplinske-pumpe.php>
- [11] [http://www.menea.hr/wp-content/uploads/2013/12/Dizalice-topline-CK\\_Soldo.pdf](http://www.menea.hr/wp-content/uploads/2013/12/Dizalice-topline-CK_Soldo.pdf)

## 10. POPIS SLIKA

Slika 1. Obnovljivi izvori energije .....	2
Slika 2. Prikaz teoretskog lijevokretnog Carnotovog procesa u p-v i T-s dijagramima.....	4
Slika 3. Usporedba procesa u rashladnom uređaju i dizalici topline.....	5
Slika 4. Pojednostavljeni prikaz rada (kompresijske) dizalice topline .....	11
Slika 5. Pojednostavljeni prikaz sastavnih dijelova kompresijske dizalice topline s toplinskim izvorom i sustavom grijanja .....	16
Slika 6. Pojednostavljena shema dizalice topline s mogućnošću preokretanja procesa.....	18
Slika 7. Shema klipnog kompresora .....	20
Slika 8. Pojednostavljen prikaz rada spiralnog kompresora .....	21
Slika 9. Pojednostavljena shema kondenzatora s dvostrukom koaksijalnom cijevi .....	22
Slika 10. Pojednostavljena shema termoekspanzijskog ventila s vanjskim izjednačavanjem tlaka i njegove uloge u rashladnom sustavu .....	23
Slika 11. Pojednostavljen prikaz sastavnih dijelova apsorpcijske dizalice topline .....	24
Slika 12. Pojednostavljena shema procesa u adsorpcijskoj dizalici topline .....	26
Slika 13. Shema iskorištavanja tla kao toplinskog izvora za dizalice topline .....	27
Slika 14. Pojednostavljeni prikaz sustava grijanja s dizalicom topline tlo - voda s podzemnim toplinskim kolektorima i toplinskom sondom .....	28
Slika 15. Osnovne izvedbe podzemnih toplinskih kolektora.....	29
Slika 16. Vodoravno kolektorsko polje sa serijskim povezanim cijevima .....	31
Slika 17. Spiralni kanalni kolektor u jarku .....	31
Slika 18. Shema podzemne toplinske sonde .....	32
Slika 19. Pojednostavljeni prikaz sustava grijanja s dizalicom topline voda - voda s bušotinama za crpljenje podzemne vode .....	35
Slika 20. Shema bušotina za iskorištavanje podzemne vode kao toplinskog izvora za dizalice topline voda - voda .....	36
Slika 21. Pojednostavljen prikaz sustava grijanja s dizalicom topline zrak - voda.....	37
Slika 22. Jednostavni apsorpcijski uređaj .....	39



## 11. POPIS TABLICA

Tablica 1. Prednosti i nedostaci obnovljivih izvora energije .....	2
Tablica 2. Prosječni toplinski učini i sezonski faktori grijanja dizalica topline, ovisno o toplinskom izvoru .....	7
Tablica 3. Osnovne značajke izvedbi dizalica topline.....	13
Tablica 4. Najčešće mogućnosti za primjenu dizalica topline .....	14
Tablica 5. Specifično odavanje topline tla za primjenu podzemnih toplinskih sondi .....	33